

CONSTANCIA DE DEFENSA PÚBLICA DE PROYECTO DE GRADUACIÓN

Proyecto de Graduación defendido públicamente ante el Tribunal Evaluador, integrado por los profesores Ing. Braulio Umaña Quirós, Ing. Milton Sandoval Quirós, Ing. Ana Grettel Leandro Hernández, Ing. Sonia Vargas Calderón, como requisito parcial para optar por el grado de Licenciatura en Ingeniería en Construcción, del Instituto Tecnológico de Costa Rica.

**BRAULIO
ENRIQUE UMAÑA
QUIROS (FIRMA)**

Firmado digitalmente por
BRAULIO ENRIQUE UMAÑA
QUIROS (FIRMA)
Fecha: 2020.09.25 11:15:16
-06'00'

Ing. Braulio Umaña Quirós.
En representación del Director

**MILTON ANTONIO
SANDOVAL
QUIROS (FIRMA)**

Firmado digitalmente por
MILTON ANTONIO
SANDOVAL QUIROS (FIRMA)
Fecha: 2020.09.28 08:55:46
-06'00'

Ing. Milton Sandoval Quirós.
Profesor Guía

**ANA GRETTEL
LEANDRO
HERNANDEZ
(FIRMA)**

Firmado digitalmente por
ANA GRETTEL LEANDRO
HERNANDEZ (FIRMA)
Fecha: 2020.09.25
15:28:38 -06'00'

Ing. Ana Grettel Leandro Hernández.
Profesora Lectora

**SONIA VARGAS
CALDERON
(FIRMA)**

Firmado digitalmente por
SONIA VARGAS
CALDERON (FIRMA)
Fecha: 2020.09.26
19:29:20 -06'00'

Ing. Sonia Vargas Calderón.
Profesora Observadora

Planificación de la logística del sitio de construcción en la instalación y manejo de equipos mayores en el proyecto Torre Universal Fase I.



Abstract

The following graduation project pretends to documentate a series of proposals made for the installation and handling of major construction equipment like tower cranes, cargo lifts and mobile concrete placing boom, all employed on Torre Universal phase 1 construction project, located in Sabana Sur, San José, Costa Rica.

All of this equipment will be planned, located and installed by using a 3 dimensional computerized model of the building and nearby edifications in form of cloud points to be able to find restrictions of physical space, times of installation and operation, finishes, materials needed, renting values so the scheduling of this equipment can be planned in phases accordingly of the building growth.

It is desirable with this type of planning minimize the probability of any accident or incident that could compromise the operation of this equipments and on the development of the construction.

In this graduation project the existing tools for 3D modeling of buildings will be addressed by describing the BIM methodology (Building Information Modeling) used to design and lead the development of Torre Universal to be a success as a BIM project. Also will be described other BIM tools besides Revit that not just model edifications and help with planning the execution integrating more dimensions that the usual 3 spatial axis.

Key words: BIM, planning, major construction equipment, crane tower, mobile placing boom, cargo lifts, Revit, operation and installation of major construction equipment.

Resumen

Este proyecto de graduación documenta una serie de propuestas realizadas para el manejo e instalación de equipos mayores como grúas torre, elevadores de carga y colocador de concreto, en el proyecto Torre Universal Fase 1 (TUN Fase 1), ubicado en Sabana Sur, San José.

Se utiliza un modelo en 3 dimensiones (3D) del edificio y levantamiento de todos los puntos e información necesaria del sitio, usando herramientas de topografía en conjunto con ingenieros de proyecto para crear un modelo 3D de sitio lo más semejante a la realidad y con esto encontrar restricciones de espacios físicos, tiempos, acabados, materiales, alquileres para elaborar una planificación del desarrollo de las fases del manejo de los equipos mayores en cuestión.

Se quiere con estas planificaciones minimizar algún percance que pudiera afectar la instalación de cualquiera de los equipos mayores y el desarrollo normal del edificio.

Se aborda sobre cómo las herramientas de modelado de información para construcción (BIM, por sus siglas en inglés) hicieron de la planificación del manejo del sitio un éxito, así mismo se hace una investigación sobre posibles plataformas que pueden ser utilizadas para el desarrollo BIM y complementen no solo en los procesos constructivos sino en la planificación del sitio de construcción y el manejo de equipos mayores.

Palabras claves: planificación, equipos mayores, grúa torre, colocador de concreto, elevadores de carga, Revit, manejo e instalación de equipos mayores, BIM.

Planificación de la logística del sitio de construcción en la instalación y manejo de equipos mayores en el proyecto Torre Universal Fase I.

JOSE LEONARDO PÉREZ BALTODANO

Proyecto final de graduación para optar por el grado de
Licenciatura en Ingeniería en Construcción

Julio del 2020
INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA
ESCUELA DE INGENIERÍA EN CONSTRUCCIÓN

Contenido

Prefacio	1
Resumen ejecutivo.....	2
Introducción.....	3
Marco teórico.	5
Metodología	13
Resultados	16
Análisis de los resultados.....	44
Conclusiones.....	51
Apéndices	54
Anexos	60
Referencias.....	78

Prefacio

Este proyecto de graduación se desarrolla en una obra ejecutada por la empresa constructora Bilco Costa Rica S.A. La elaboración de este documento, se justifica con el fin de que, con el análisis de los resultados obtenidos, se pueda resaltar la importancia del uso de herramientas BIM no sólo en el desarrollo de un proyecto sino en la planificación y manejo del sitio de construcción con los equipos mayores a utilizar, en proyectos posteriores a ejecutar.

Resulta importante mencionar que con el desarrollo de este proyecto de graduación la compañía de construcción podrá tener una guía, de pasos generales como se llevó a cabo en TUN Fase 1, la planificación y el manejo de equipos mayores como grúas torre, elevadores de carga y colocador de concreto.

Como objetivo general se tiene, planificar la logística del manejo de equipos mayores en un proyecto de construcción mediante el modelado de la información, ya que el proceso tradicional de elaboración de planos de sitio, donde se ubican los equipos mayores comprende el uso de herramientas únicamente en dos dimensiones, dejando de lado la tercera dimensión, que juega un papel fundamental en el manejo y planificación de los equipos mayores.

Al incorporar esta tercera dimensión, inclusive es posible tener de alguna manera diagramas de fases con fechas aproximadas (cuarta dimensión), para tener un panorama más claro de la situación a la que se quiere llegar. Del mismo modo teniendo un modelo 3D, es posible encontrar de manera más sencilla las posibles restricciones que se tienen.

Torre Universal Fase 1 es un proyecto con más de 80.000 metros cuadrados de construcción y se aproxima a los 100 metros de altura, con una huella de más de 2000 metros cuadrados, con fachadas arquitectónicas en vidrios y combinaciones de volúmenes livianos con muros de concreto, con lo cual se hizo de suma importancia la intervención del departamento BIM, en conjunto con el equipo de

ingeniería para la planificación del manejo e instalación de equipos mayores necesarios para desarrollar esta obra, que da inicio a la ciudad inteligente.

Primeramente, eternamente agradecido con Dios por la vida, las oportunidades y el control que ha tenido sobre mi vida. Mis padres, pilares que siempre han estado presente en todas las etapas de mi vida y que de alguna u otra manera me han apoyado y enseñado.

Por parte de la empresa, muy agradecido con el director del proyecto Torre Universal Fase 1, Ing. Arturo Monge, por la oportunidad brindada, con el Ing. Pablo Montero, el Ing. José Díaz, el Ing. Gunter Zeller, el Ing BIM Juan Diego Fernández y la Ing. Ana María Castillo, porque gracias a ellos me adapté fácilmente al desarrollo del trabajo y me enseñaron muchas cosas, así mismo fueron parte importante en el desarrollo de este proyecto de graduación.

Debo reconocer que el equipo de trabajo en general fue muy atento y colaboradores, principalmente, el Ing Juan Diego Fernández, ingeniero del departamento BIM para el proyecto TUN Fase 1, que estuvo siempre muy atento para desarrollar el proyecto final de graduación. Así mismo a los encargados del departamento de equipos de la compañía Bilco Costa Rica S.A. por los aportes brindados.

El Tecnológico de Costa Rica por todas las herramientas y conocimientos adquiridos durante seis largos y agrídulces años, los cuales se pusieron en práctica en este nuevo proceso, en especial debo agradecer al profesor Ing Milton Sandoval, por aceptar ser mi tutor en este proyecto de graduación, por toda la ayuda brindada.

Resumen ejecutivo

El trabajo desarrollado en este proyecto de graduación, generó la documentación de las propuestas de planificación y manejo de equipos mayores en el proyecto Torre Universal Fase I ubicado en Sabana Sur, San José. Grúas torre, elevadores de carga y colocador de concreto, son los equipos mayores estudiados en este documento.

La ubicación de este proyecto de construcción, al encontrarse en un espacio altamente transitado, en la GAM, generó la necesidad de mayor coordinación y logística de los equipos, ya que los espacios cada vez son más reducidos y las construcciones es necesario realizarlas en sectores más congestionados y complejos. Los clientes a su vez son más exigentes con tiempos de entregas y edificios más grandes, sin dejar de lado la complejidad arquitectónica, lo que obliga al sector construcción a usar más equipos y tecnologías, por lo que fue necesario tener una logística de planificación de cada uno de los equipos a utilizar.

Para cumplir con el objetivo general del proyecto se llevaron a cabo varias actividades con involucrados, directos e indirectos, en la logística y planificación del manejo e instalación de equipos mayores para un proyecto de construcción.

Con el objetivo específico #1 se utilizó un modelo en 3 dimensiones (3D) del edificio y levantamientos de todos los puntos e información del sitio de construcción, usando herramientas de topografía en conjunto con ingenieros de proyecto para crear un modelo 3D de sitio lo más semejante a la realidad y con esto encontrar restricciones de espacios físicos, tiempos, acabados, materiales, alquileres para elaborar una planificación del desarrollo de las fases del manejo de los equipos mayores en cuestión.

Unas de las restricciones encontradas más relevantes fue en el espacio donde se instalaron las grúas #1 y la #2, ya que al tener arriostres anclados al edificio, requería cumplir retiros específicos y los espacios eran bastante reducidos para determinar la ubicación.

Para dar seguimiento a la instalación y el manejo de los equipos mayores, se realizaron visitas a campo, de las cuales se obtuvo información de valor, como levantamientos topográficos y de sitio existentes.

Para concluir con el objetivo específico #2 en conjunto con el Departamento BIM del proyecto se documentaron las propuestas realizadas para la instalación y el manejo de equipos mayores en el sitio de construcción, con lo cual se quiso con estas planificaciones minimizar algún percance que pudiera afectar la instalación de cualquiera de los equipos mayores y el desarrollo normal del edificio.

Con estas propuestas se generaron planos de taller para construcción con alto grado de detalle, las cuales funcionaron y generaron valor agregado a entender mejor las soluciones de campo.

Para concluir con el objetivo específico #3, se aborda sobre cómo las herramientas de modelado de información para construcción (BIM) hicieron de la planificación del manejo del sitio, un éxito.

Se hizo una investigación sobre plataformas que pueden ser utilizadas para el desarrollo BIM y que lo complementen no sólo los procesos constructivos sino también en la planificación del sitio de construcción y el manejo de equipos mayores. Obteniendo ventajas y desventajas de cada una de las herramientas investigadas, arrojando, según el BIM HandBook 2011, como plataforma más usada el Revit.

Introducción

Si bien es cierto la construcción sigue siendo un indicador de la economía y el grado de desarrollo de un país, evaluar la forma en la que se construye resulta importante para poder lograr mejores réditos con los recursos disponibles. Con un mundo globalizado y definido por la velocidad en la que avanza la tecnología, este mismo concepto se traslada al ámbito de la construcción donde los retos a nivel de diseño y ejecución impulsan el desarrollo de nuevas estrategias y avances en pos de las nuevas edificaciones.

En un planeta donde la sobrepoblación y la coexistencia con los espacios naturales empujan a las nuevas ciudades a construir en forma vertical de forma acelerada para suplir la necesidad de vivienda, esto ha desencadenado edificios de mayor altura en plazos cada vez menores en cuanto a la ejecución; lo cual genera grandes retos para aquellas empresas que quieren mantenerse vigentes en el mercado y adaptarse a los nuevos paradigmas, que en nuestra realidad local supone una serie importante de limitaciones y dificultades que deben superarse poniendo en práctica ingeniosas soluciones, aplicación de técnicas y tecnologías propias e importadas, las buenas prácticas y sobretodo el ingenio y la creatividad para superar los obstáculos.

El desarrollo vertical requiere de un grado de planificación superior, no solo por lo que supone su compleja ejecución, sino que cada vez nuestras ciudades nos obligan a construir en espacios más confinados por lo que los diseños de sitio y el uso de nuevas tecnologías y equipos toman un papel predominante a la hora de su ejecución.

A pesar de que el sector de la construcción ha tenido importantes avances en los últimos años, principalmente de herramientas y técnicas para la ejecución de algunos procesos constructivos, no siempre se cuenta con la capacidad económica para invertir en la

capacitación y aplicación de estas nuevas prácticas.

Por ejemplo una de las tecnologías con mayor auge y desarrollo es el modelado de la información para la construcción (de sus siglas en ingles BIM), que es un sistema digital de trabajo que permite gestionar toda la información de las distintas disciplinas que intervienen en un proyecto, durante todo el ciclo de vida de una obra.

Puede facilitar la planificación logística del sitio de construcción, porque los proyectos modelados en BIM pueden incluir los productos finales y materiales reales que se utilizarán para construirlos, así como guardar sus características y capacidades reales del proyecto, también puede llegar a facilitar el control de costos, la operación y el mantenimiento de la obra.

La empresa constructora Bilco Costa Rica S.A a pesar de su corta trayectoria ha tenido un fuerte crecimiento en el ámbito, potenciado por la implementación de nuevas tecnologías y buenas prácticas, colocándose como una de las empresas líder en el mercado.

Uno de sus pilares para estar a la vanguardia es el departamento BIM que le da soporte a las distintas remodelaciones y obras en ejecución, así como todos los proyectos en pre-construcción y presupuesto, donde el proyecto Torre Universal Fase 1 (TUN) no ha sido la excepción y es precisamente la edificación donde se llevará a cabo este proyecto de graduación.

Torre Universal Fase 1 es el primer edificio del proyecto Ciudad Tecnológica, potenciado por el Gobierno de la República y la Municipalidad de San José, así como también tendrá participación del Tecnológico de Costa Rica. Este edificio se aproxima a los 100 metros de altura con 22 niveles y 2 sótanos y más de 80.000 metros cuadrados de construcción, en donde se ubicarán parqueos en los primeros 8 niveles, oficinas y áreas comunes, todo esto se encuentra modelado en 3D.

Para el desarrollo de este proyecto final de graduación, se plantea como objetivo general; Planificar la logística del manejo de equipos mayores en un proyecto de construcción mediante el modelado de la información.

Entendiendo como equipos mayores, aquellos que involucran la logística para su instalación y su debido manejo ya que son de gran tamaño, así mismo implica un costo económico mayor no solo en su uso sino en la instalación del mismo, ya que resulta necesario el alquiler de una grúa camión por ejemplo.

Con el fin de lograr el objetivo principal, se derivan tres objetivos específicos que se pretenden abordar mediante distintas actividades para obtener productos satisfactorios. Los objetivos específicos son los siguientes:

- Identificar las posibles restricciones que se prestaron durante las fases de desarrollo de la instalación de equipos mayores.
- Documentar las propuestas de planificación para la elaboración de las fases en la instalación y el manejo de los equipos mayores.
- Explorar la existencia de otras herramientas BIM que pueden complementar el proceso de planificación utilizando en el proyecto TUN FASE 1.

Con este proyecto de graduación se va a generar una posible guía con herramientas para instalación y manejo de equipos mayores como grúa torre, elevadores de carga y colocador de concreto, para proyectos posteriores, a partir de la planificación de la logística del manejo de equipos mayores del proyecto TUN FASE 1. De esta manera la empresa constructora Bilco Costa Rica S.A obtendrá no solo la guía sino una retroalimentación con lecciones aprendidas del análisis de los resultados obtenidos en TUN FASE 1.

Definiciones

Equipos mayores: Son la fuerza vital para las operaciones competitivas de gran magnitud en la construcción, entre los factores más importantes de elección es el costo adquisitivo.

Grúa torre: Es un equipo de funcionamiento electromecánico o hidráulico con un eje vertical giratorio y un brazo con varias poleas, que tiene como función principal levantar cargas y trasladarlas de un punto a otro.

Elevador de carga: Es una cabina que se desliza por una guía lateral rígida vertical, a su vez esta arriostrada a una estructura externa. El objetivo principal es subir o bajar personas y/o materiales,

en caso que su uso sea mixto, en los distintos niveles que cuente el edificio.

Colocador de concreto: es un brazo giratorio de accionamiento manual y a control remoto, que permite la colocación de concreto de manera fácil, ergonómica y de alto rendimiento. Conocido en inglés como Mobile Placing Boom (MPB).

Planificación: esfuerzos que se realizan a fin de cumplir con objetivos y hacer realidad diversos propósitos.

Logística: conjunto de los medios y métodos que permiten llevar a cabo la organización de una empresa o de un servicio.

Modelo 3D: consiste en la obra virtual con familias paramétricas reales, el cual contiene toda la información de todas las partes involucradas del proyecto.

BIM: de su significado en inglés Building Information Modeling, el cual involucra toda una serie de herramientas y técnicas para generar datos reales al alcance de todos los participantes en un solo paquete.

Sitio de construcción: lugar establecido donde se va a llevar a cabo el proyecto de construcción.

Línea de propiedad: límite perimetral imaginario establecido por un ente registral de la propiedad.

Proyecto de construcción: conjunto autónomo de inversiones, actividades, políticas y medidas institucionales o de otra índole, diseñado para lograr un objetivo específico de desarrollo en un periodo determinado, en una región geográfica delimitada y para un grupo predefinido de beneficiarios.

Proyección: estimación acerca de la potencial situación o del progreso de un plan, en un punto particular del futuro.

LPS: de su significado en inglés Last Planner System, es una reunión que involucra a todos los participantes de un proyecto de construcción, donde cada participante en su área se compromete para con el proyecto, indicando las fechas de inicio y fin de las diversas actividades críticas y no críticas, para cumplir con los objetivos a 6 semanas.

Riesgo: posibilidad de que se produzca un contratiempo o una desgracia, de que alguien o algo sufra perjuicio o daño.

Telescopaje: proceso de incrementar el tamaño en altura de una grúa torre o un elevador de carga, añadiendo más cuerpos a los que ya están colocados.

Restricción: Un factor limitante que afecta la ejecución de un proyecto, programa o proceso.

Marco teórico.

Un proyecto, según la metodología de Evaluación de la Cooperación Española (González Mancebo José A, 2007) lo define como: “un conjunto autónomo de inversiones, actividades, políticas y medidas institucionales o de otra índole, diseñado para lograr un objetivo específico de desarrollo en un periodo determinado, en una región geográfica delimitada y para un grupo predefinido de beneficiarios”.

Un proyecto no puede verse como un algo aislado y autosuficiente, sino que hay que entenderlo como un conjunto interdisciplinario inmerso en un contexto determinado.

Los proyectos siguen un proceso determinado que se inicia con unas determinadas necesidades a las que se debe responder, se define qué es lo que se debe hacer, se analiza cómo hacerlo, se ejecutan las acciones oportunas, se le da un seguimiento y control de las mismas y se finaliza, obteniendo un producto que satisface las necesidades.

La Guía de los Fundamentos para la Dirección de Proyectos define como proyecto, para el gremio de la construcción como un esfuerzo temporal que se lleva a cabo para crear un producto o resultado determinado (Project Management Institute, 2013).

La planificación de un proyecto de construcción se basa en realizar proyecciones y buscar los caminos más eficientes de ejecución de procesos, con el fin de obtener el mismo resultado como producto final, generando una mayor ganancia, reduciendo la mayor cantidad de imprevistos y se vea afectado el avance de la obra.

Una planificación adecuada permite una mejor orientación de todas la instancias implicadas y un mayor aprovechamiento de los recursos disponibles, para así optimizar los beneficios derivados de las distintas acciones emprendidas.

La falta de planificación, puede hacer inútiles los esfuerzos realizados, que se solapen o dupliquen los presupuestos destinados a un

mismo problema, que se desaprovechen o desperdicien recursos humanos, materiales y en definitiva es posible quedarse en los buenos propósitos sin resultados prácticos y satisfactorios. Por lo que una correcta planificación facilita, en gran medida la ejecución y su respectivo manejo.

Existen varios tipos de planificación, sin embargo para este proyecto únicamente se abordaran dos tipos; la planificación estratégica y la planificación operativa, ya que según Stoner (1996) son las dos planificaciones que más utilizan los gerentes de proyectos, debido que existe un vínculo entre ellas.

La planificación estratégica está diseñada para satisfacer las metas generales de la organización a largo plazo, mientras que la planificación operativa muestra cómo se pueden aplicar los planes estratégicos en el quehacer diario.

El modelo de Goodstein, Nolan y Pferffer (1998), se basa en la planificación estratégica-operativa (Modelo de Planeación Estratégica Aplicada), y resaltan la importancia de la interacción e interconexión de distintos actores dentro de la organización en la fase de planeación, es decir, el modelo considera, la creación de grupos de trabajo conformados por un director general y una representación de trabajadores directamente involucrados en el proyecto que aporten en la toma de decisiones.

De acuerdo a lo que dice W. Jiménez C. (1982), que la planificación es un proceso de toma de decisiones para alcanzar un futuro deseado, teniendo en cuenta la situación actual y los factores internos y externos que pueden influir en el logro de los objetivos, resulta esencial en cualquier trabajo ya que permitirá conseguir los objetivos.

Lo mismo pasa con el sitio de construcción, la instalación de equipos mayores y su respectivo manejo, ya que debe haber una óptima planificación para que, de igual manera no hayan imprevistos que puedan ocasionar atrasos y que directamente afecten el avance del proyecto.

La logística del sitio de construcción tiene como objetivo principal asegurar la planificación adecuada de los aspectos y restricciones, según las condiciones de infraestructura provisional y sitio real actual, flujo de personas, áreas seguras, materiales y equipos en el proyecto, de modo que sea eficiente.

Existen distintos tipos de restricciones importantes a tomar en cuenta en la logística del sitio de construcción para la instalación y manejo de los equipos mayores, por lo que como mínimo se debe considerar los siguientes:

- Distribución de accesos, sentidos de circulación, distribución de espacios temporales y centros de acopio durante la construcción, diseño final de la obra.
- Alturas y distanciamientos de líneas de alta y media tensión eléctrica.
- Tiempos de ejecución de procesos y entregas.
- Costos.

En este proyecto de graduación se abarcarán los siguientes equipos mayores: Grúa Torre, Colocador de Concreto y Elevadores Carga.

Grúa Torre

La grúa torre es un equipo mayor o máquina de funcionamiento electromecánico o hidráulico con un eje vertical giratorio y brazo con varias poleas, que sirve para levantar cargas y trasladarlas de un punto a otro, dentro del círculo que el brazo describe (CRANE AND MACHINERY, 2020). Es un aparato de elevación con una torre vertical y la parte inferior se une a la base de esta. Por lo general, son utilizadas en las construcciones.

La grúa torre suele ser de instalación temporal y está concebida para soportar frecuentes montajes y desmontajes, así como telescopajes arriostrados al edificio en construcción en caso de que las características del proyecto y el equipo así lo requieran. Tanto las operaciones de montajes, desmontajes y telescopajes deben ser realizadas por personal especializado, asimismo los mantenimientos.

La grúa se compone de tres partes: cabeza con brazos, torre desmontable y base. La primera parte está dimensionada de acuerdo a la influencia de las características de cargas y alcances. La segunda, torre desmontable, principalmente se basa en la altura que vaya a tener el proyecto. Y por último y no menos importante, la base, que se ve influenciada por las dos partes anteriores, para dar soporte y estabilidad a la grúa durante el movimiento de cargas y su reposo. (Ver Figura 1)



Figura 1. Tres partes en que se divide la grúa

Los elementos que componen una grúa son:

- **Mástil:** Consiste en una estructura de celosía metálica de sección, casi siempre, cuadrada, cuya principal misión es dotar de altura suficiente a la grúa, para poder realizar los movimientos pertinentes durante el crecimiento de la obra. También conocido como cuerpos de grúa. (Ver Figura 2)



Figura 2. Mástil de grúa torre.

- **Flecha:** Estructura de celosía metálica de sección normalmente triangular, que tiene como función primordial dotar a la

grúa del radio o alcance que necesite, según las necesidades del proyecto. También se le conoce como pluma. (Ver Figura 3)



Figura 3. Pluma de grúa

- Contraflecha: Esta unida al mástil en la zona de la dirección opuesta de la pluma. Al final de la contraflecha se colocan los contrapesos. En la mayoría de las ocasiones la contraflecha oscila entre el 30% y 35% de la longitud de la pluma (Ver figura 4).



Figura 4. Contraflecha y contrapesos.

- Contrapesos o base: Son estructuras de concreto reforzado prefabricado que se debe colocar para estabilizar el peso y la inercia que se produce en la flecha de la grúa. Deben cumplir su objetivo tanto la grúa este en reposo como en funcionamiento. También se pueden tener bases

formadas por una placa enterrada previamente diseñada de acuerdo a las solicitudes de la grúa. Se deben tener en cuenta principalmente condiciones como: capacidad soportante del suelo, altura máxima de grúa torre, condiciones de viento, capacidades de carga, posición referente al edificio por construir, estructuras aledañas y rutas áreas.

- Carro: Consiste básicamente en un carro que se mueve a lo largo de la pluma a través de unos carriles. Este movimiento da la maniobrabilidad necesaria en la grúa dentro del radio o alcance con que cuenta la pluma. (Ver imagen 5)



Figura 5. Carrito de la grúa, cables, gancho y pasteca.

- Cables y gancho: El cable de elevación es una de las partes más delicadas de la grúa y, para que dé un rendimiento adecuado, es preciso que sea usado y mantenido adecuadamente. Debe estar perfectamente tensado y se hará un seguimiento periódico para que, durante

su enrollamiento en el tambor no se entrecruce, ya que daría lugar a aplastamientos y por consecuente disminución a la vida del cable. El gancho irá provisto de un dispositivo llamado "pasteca", que permite la fácil entrada de cables de las eslingas y estobos, y de forma automática los retenga impidiendo su salida. (Ver Figura 5).

- Motores: la grúa convencional para la construcción utiliza tres motores, el motor de elevación que permite el movimiento vertical de la carga, el motor de distribución que da el movimiento del carro a lo largo de la pluma y el motor de orientación que se utiliza para girar la grúa 360°, en el plano horizontal de la estructura superior de la grúa.

Existe una clasificación que está basada en la instrucción técnica complementaria MIE-AEM-2 (2003), y dice que se clasifican de la siguiente manera: grúa torre fija o estacionaria, grúa torre desplazable en servicio, grúa torre desmontable, grúa torre autodesplegable, grúa torre autodesplegable monobloc y grúa trepadora. Sin embargo no todas estas grúas se ajustan a las necesidades que presenta un proyecto en construcción vertical, por lo que solo se describirán únicamente las que se puedan utilizar en un proyecto vertical de construcción de altura considerable y presentes en el mercado local y regional.

- Grúa torre fija o estacionaria: es aquella cuya base no posee medios de traslación y que la base es una placa de fundación o cualquier otro conjunto fijo.
- Grúa torre desmontable: concebida para su utilización en las obras de construcción u otras aplicaciones, diseñadas para soportar frecuentes montajes y desmontajes, así como traslados entre distintos emplazamientos.

Resulta importante mencionar que existe una gran variedad de grúas en el mercado y ámbito de la construcción por ejemplo grúas camión, autoportables, telescópicas, e incluso las que describe la instrucción técnica complementaria MIE-AEM-2 (2003), que pueden ser utilizadas no solo en proyectos de construcción sino en la instalación de otras grúas torre, sin embargo por temas de alcance del proyecto final de

graduación no serán tomadas en cuenta para el desarrollo de este documento como si lo serán las grúas torre.

Colocador de Concreto.

Pluma distribuidora de concreto (Ver Figura 6), es una vaciadora de concreto para uso combinado con una bomba de concreto en operaciones de vaciado de concreto. Puede ser utilizado ampliamente en la construcción de varios tipos de estructuras de concreto, por ejemplo edificios industriales y civiles, puentes, carreteras y otros tipos de infraestructuras. (Manual de servicio Pluma distribuidora de concreto HGY15)

Este equipo puede ser utilizado solamente en operaciones de construcción de concreto y no en otro tipo de operaciones como arrastre, movimiento o elevación de artículos pesados o personal.

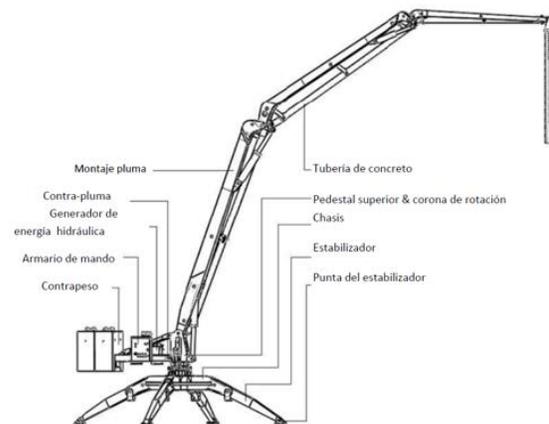


Figura 6. Pluma colocadora de concreto.

En la imagen de la Figura 6 se muestra el nombre de los componentes del colocador de concreto, que a continuación se describirá brevemente cada uno de los componentes.

La pluma actúa como la unidad operadora de la distribución del concreto y consta de tres secciones, Sección I de la pluma, Sección II de la pluma y Sección III de la pluma, las cuales tiene distintas longitudes y ángulos de movimientos, los cuales se muestran en la siguiente Tabla 1.

Tabla 1. Longitud y ángulos de las secciones de la pluma		
Sección de la pluma	Parámetros	
	Largo (mm)	Ángulo de rotación (grados)
Sección I de la pluma	6000	90
Sección II de la pluma	5000	180
Sección III de la pluma	4000	180

Pedestal superior y corona de rotación, una estructura de metal soldada, el pedestal superior está montado en el anillo interno de la corona de rotación, y asegurado con uniones de tornillo de gran resistencia. El pedestal superior está unido a la bisagra posterior de la Sección I de la Pluma por medio de pivotes y actúa como soporte de la pluma. Como se muestra en la Figura 7 en el momento que se acciona la corona de rotación, el pedestal superior rota a su vez la pluma, para concluir con el movimiento giratorio del equipo. El mecanismo de giro consta de un motor hidráulico, un reductor de velocidad y un ensamble de pedestal.

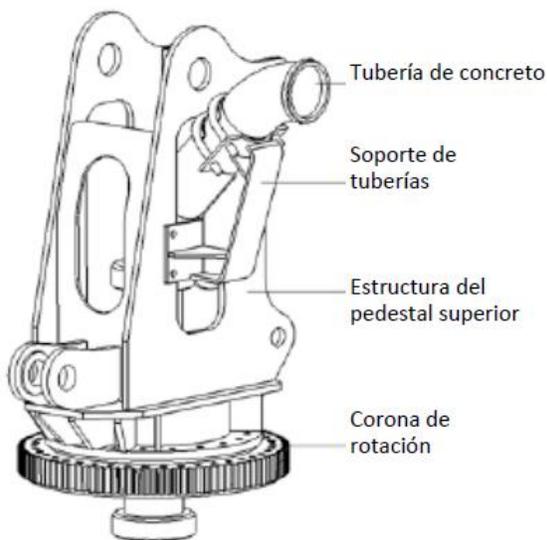


Figura 7. Pedestal superior y corona de rotación.

El ensamblaje del chasis funciona como miembro estructural para soportar la unidad operativa de la pluma distribuidora. Cuatro estabilizadores están montados en el chasis, cada uno de ellos unido a la estructura soldada del chasis por medio de dos pivotes. La brida en

el extremo superior del chasis está unida al anillo externo de la estructura de la corona de rotación por medio de uniones de tornillo de gran resistencia. (Ver Figura 8)

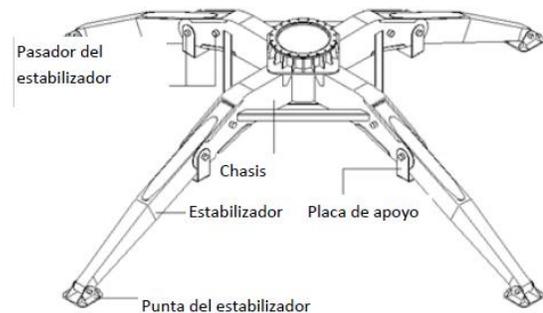


Figura 8. Chasis del colocador de concreto (base)

La contrapluma consiste en un marco y una varilla de tracción, a ambos lados de la cual se colocan separadamente el generador de energía hidráulica y la consola de control. Además, se coloca un pedestal superior por medio de pivotes. (Ver Figura 9). El radio de giro de la cola del marco es de 2.8 metros.



Figura 9. Contrapalo y contrapesos.

Por su parte el contrapeso, como antes se menciona se coloca en la contrapluma y sirve para ajustar la estabilidad general de la pluma distribuidora de concreto. Cada contrapeso debe tener 1100 ± 20 kg, y cada pluma distribuidora de concreto debe estar equipada con dos contrapesos (Ver Figura 9).

El sistema hidráulico funciona como la unidad que provee al equipo la movilidad

necesaria cuando está en operación, como también se muestra en la Figura 9. Consta de un motor eléctrico, una bomba hidráulica, un depósito de aceite, cilindros, un paquete de válvulas, tuberías. (Ver Figura 10)

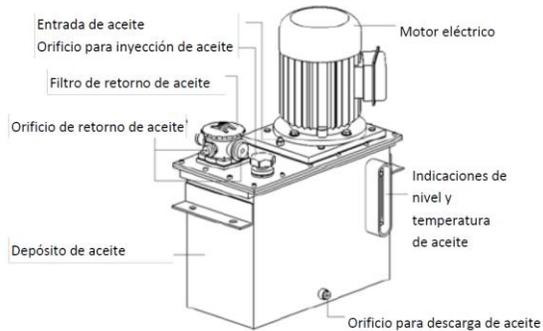


Figura 10. Motor del colocador de concreto.

Adicional a este equipo es importante comentar que existen otros tipos de colocadores de concreto. Son el colocador de concreto de torre y el deck placers, que por temas de alcance del proyecto de graduación no se hará mayor investigación. Particularmente se eligió el colocador de concreto o pluma distribuidora de concreto (de sus siglas en inglés MPB) ya que es propiedad de la compañía y resulta de mucho provecho elaborar el respectivo análisis para generar una documentación real y no haya un retrabajo posteriormente.

Elevadores de carga

Los elevadores de materiales y personal, son máquinas que se instalan en la obra de manera provisional (Ver Figura 11). La elevación se produce a través de mástiles verticales con cremalleras por lo que los motores mediante piñones transmiten el movimiento.

Los operadores de estos elevadores deben estar capacitados para ejecutar el funcionamiento correcto de la máquina. Tiene como objetivo transportar de un piso a otro, material y/o personal de forma rápida y segura.

Sus componentes son modulares, lo que permite un montaje relativamente sencillo y rápido de ejecutar, sin embargo es importante que tanto el montaje como el desmontaje lo realice personal capacitado. El debido manejo a posteriori de su instalación, ya con un colaborador capacitado, se torna bastante sencillo.



Figura 11. Elevador de carga.

Como se observa en la figura 11, un elevador de carga está compuesto básicamente por mástiles verticales casi siempre de celosía y con forma rectangular, también conocido como cuerpos modulares, que se ensamblan para darle la altura necesaria, para operar el equipo.

También cuenta con cabina que es donde se ingresan las personas o el material que se quiere trasladar, por lo que es la que sube y baja, y se tiene una capacidad establecida para su respectivo uso. En la parte inferior se tiene un encierro donde se tiene la energización, se enrolla el cable que alimenta el motor que va en la cabina.

Es importante mencionar que es necesario diseñar el sistema de soporte donde se funda el elevador, ya que existe dos posibles sistemas, cruciformes metálicos o bien una placa de fundación. Se torna importante ya que debe dotar de estabilidad al elevador durante la vida de uso del elevador en el proyecto.

Existen dos tipos de elevadores para personas y materiales, la diferencia se basa principalmente en la capacidad que tiene el de materiales para transportar cargas en las diferentes plantas del edificio, por lo que para este trabajo final de graduación se desarrollara con el elevador para personas.

BIM

Las herramientas computacionales en el campo de la ingeniería en construcción, como las de tipo Computer Aided Design (de sus siglas CAD), se encuentran en constante desarrollo, en forma paralela a la implementación de los equipos de computación. Aplicar herramientas de este tipo ayuda a mejorar los procesos de análisis de datos (Building Smart Spain Chapter, 2017).

En 1986 aparecieron los primeros documentos que desarrollaban explícitamente el concepto BIM, sin embargo se dice que Charles Eastman en 1975 fue el desarrollador de este concepto. Mediante el principio de la practicidad, Charles consideraba que se desperdiciaba tiempo en la modificación de planos, consideró que estos cambios se deben realizar una vez en el momento oportuno, cuando no se estuviera ejecutando ningún proceso y así aprovechar para actualizar todos los documentos involucrados en el diseño.

En la tesis de Mojica & Rivera del 2012, indican que los primeros desarrollos de software computacionales BIM se dan en 1984 con un profesor húngaro y un estudiante, quienes mediante dos computadoras Mac se centran en el desarrollo de un software 3D.

Según el libro BIM Handbook 2011, el modelado de la información para la construcción (BIM) es uno de los desarrollos más prometedores en la arquitectura, ingeniería y la industria de la construcción. Con la tecnología BIM, uno o más modelos virtuales precisos de un edificio se construyen digitalmente.

BIM también organiza muchas de las funciones necesarias para modelar el ciclo de vida del edificio, proporcionando la base para nuevas capacidades de diseño y construcción, cambios de roles y relaciones entre el equipo de trabajo del proyecto.

Es importante recalcar que el BIM no se trata de simplemente un software sino de todo un proceso colaborativo que pretende hacer mucho más eficiente los flujos de trabajo y no caer en re-

procesos de información, con el fin de tener una base de datos para optimizar la entrega de proyectos.

El BIM Education Program define el BIM de dos maneras, una es la verbalización del BIM, que es el proceso de creación, gestión y uso de la información del modelado de construcción para diseñar detalles que faciliten el proceso de construcción y el manejo de la comunicación para optimizar el esfuerzo de todos los procesos que involucra el desarrollo de una obra. Por otro lado, se tiene el BIM como un sustantivo que es toda esta información adquirida del modelo virtual, que facilita y optimiza el proceso de construcción, en la mayoría de los casos se tiene representaciones 3D para facilitar la visualización e interpretación. ((Kiesel, 2017)

Los sistemas de CAD con mayor antigüedad producían dibujos, estos generaban archivos que consisten principalmente en vectores, tipos de línea e identificación de capas. A medida que estos sistemas fueron avanzando se integró información adicional a estos archivos. Con la introducción del modelado en 3D, se agregaron herramientas de alta definición y superficies complejas.

A medida que los sistemas CAD se volvieron más inteligentes y más usuarios quisieron compartir datos asociados con un diseño de construcción determinado, el enfoque cambió de simples dibujos 2D a imágenes 3D con mayor información. Un modelo de construcción producido por una herramienta BIM puede admitir múltiples vistas diferentes de los datos contenidos en un conjunto de dibujos, incluidos 2D y 3D. Puede ser descrito por sus contenidos o sus capacidades.

La visión de entidad nacional de estándares para el modelaje de la información para la construcción, BIM es “un proceso mejorado de planificación, diseño, construcción, operación y mantenimiento que utiliza un modelo de información legible por máquina estandarizado para cada instalación, nueva o antigua, que contiene toda la información apropiada, creada o recopilada sobre esa instalación en un formato utilizable por todos a lo largo de su ciclo de vida” (NBIMS, 2008).

La iniciativa NBIMS clasifica el BIM de tres maneras:

- Como un producto.

- Como un entregable basado en estándares abiertos y habilitado para TI, y un proceso colaborativo.
- Como un requisito de gestión del ciclo de vida de la instalación.

El termino BIM es una palabra de moda popular utilizada por los desarrolladores de programas para describir las capacidades que ofrecen sus productos. Como tal, la definición de lo que constituye la tecnología BIM está sujeta a variación y confusión. Para lidiar con esta confusión, es útil describir que soluciones de modelado NO utilizan la tecnología de diseño BIM. (Eastman, Teicholz, Sacks, & Liston, 2011)

Modelos que solo contienen datos 3D y ningún (o pocos) atributo, es decir son buenos para visualizaciones pero no provee soporte para integrar datos ni análisis de diseño. Modelos sin soporte de comportamiento, son modelos con objetos definidos pero no pueden ajustar su posición ni proporciones porque no utiliza familias paramétricas.

También modelos que están compuestos por múltiples archivos de referencia 2D de CAD que se deben combinar para diferenciar el edificio y que permiten cambios en las dimensiones únicamente en una vista pero no se reflejan automáticamente en otras vistas, no están incluidos dentro de la tecnología BIM. (Eastman, Teicholz, Sacks, & Liston, 2011)

La tecnología BIM y los procesos asociados sin duda alguna son la base de cómo el diseño de un proyecto de construcción y los procesos como tal, puede responder a las presiones crecientes de mayor complejidad, avances más rápidos, entre otros que a su vez mejora los tiempos de ejecución y en consecuencia reduce el costo del edificio y su uso posterior.

Si bien es cierto existen una gran cantidad de ventajas en la implementación de la tecnología BIM, es muy poco probable que todas estén en uso, al menos en nuestro país, por lo que a continuación se enumeraron unas ventajas tomadas del libro BIM Handbook 2011, para mostrar el alcance completo de los cambios que se puede esperar a medida que se vaya desarrollando la tecnología BIM:

1. Beneficios de pre-construcción para el propietario.
2. Mayor rendimiento y calidad del edificio.
3. Colaboración mejorada de los involucrados mediante entrega inmediata de proyectos.

4. Visualizaciones tempranas y más precisas de un diseño.
5. Correcciones automáticas de bajo nivel cuando se realizan cambios en el diseño.
6. Elaboración de dibujos 2D precisos en cualquier etapa del diseño.
7. Colaboración temprana de múltiples disciplinas de diseño.
8. Fácil verificación de interferencias entre diseños.
9. Extracción de estimación de costo y cantidades durante la etapa de diseño.
10. Mejora de la eficiencia energética y la sostenibilidad.
11. Uso del modelo de diseño como base para componentes prefabricados.
12. Reacción rápida a los cambios de diseño.
13. Descubrimiento de errores de diseño y omisiones antes de la construcción.
14. Sincronización de diseño y planificación de la construcción.
15. Mejor implementación de técnicas Lean Construction.
16. Sincronización de compras de diseño y construcción.
17. Mejora de la puesta en marcha y entrega de información de las instalaciones.
18. Mejor gestión y operación de las instalaciones.
19. Integración con operación de instalaciones y sistemas de gestión.

Las plataformas BIM pueden usarse de diversas maneras en la construcción de edificios, por ejemplo para el arquitecto en el momento de modelar y producir planos, por el ingeniero para gestión de datos estructurales, por un contratista para desarrollar un modelo de coordinación de la construcción.

Revit es el líder del mercado BIM más actual y conocido en el diseño arquitectónico. Fue introducido por Autodesk en el 2002 después de que Autodesk adquiriera el programa Revit de una empresa nueva.

Revit es una plataforma completamente separada de AutoCAD, con una base de código y estructura de archivo diferente. Revit es una familia de productos integrados que actualmente incluye Revit Architecture, Revit Structure y Revit MEP. (Eastman, Teicholz, Sacks, & Liston, 2011)

Metodología

El presente proyecto de graduación se basa en información recabada directamente del proyecto bajo análisis, es decir que se obtendrán datos tanto de campo, como del equipo de ingeniería a cargo del mismo, para tener un punto de vista más completo al poder observar los resultados de la implementación de las diferentes tecnologías y equipos disponibles, y de las decisiones tomadas con base a los recursos y requerimientos de la obra.

Para este trabajo final de graduación se plantean tres objetivos específicos derivados del objetivo general.

A continuación se detalla cada una de las actividades y principales acciones que se realizan para cumplir con cada uno de los objetivos.

OE1: Identificar las posibles restricciones que se presentaron durante las fases de desarrollo de la instalación de equipos mayores.

Para identificar cada una de las posibles restricciones reales que se presentaron durante las fases de desarrollo de la instalación de equipos mayores, se programaron 25 visitas al

proyecto Torre Universal Fase I, permitiendo tener un panorama mucho más claro de la ejecución como tal de la instalación y el manejo de cada uno de los equipos mayores, grúas torre, elevadores de carga y colocador de concreto.

A partir de una matriz de principales características de cada una de las tres grúas torre, se logró determinar mediante una lista de chequeo y observando en sitio cuáles restricciones de espacio físico se deberían contemplar para la instalación de cada una de las grúas. Del mismo modo con los elevadores de carga para personal.

Es importante mencionar que se incluirán las ventajas y el por qué TUN Fase I requirió estos equipos mayores, desde una relación costo-beneficio para cada uno de los equipos mayores.

Primeramente por la extensa huella del edificio en sus primeros niveles y por un tema de alcance con la entrega del proyecto TUN FASE I, hubo el requerimiento de instalar 3 grúas torre. Por lo que se determinó la ubicación de cada una de las grúas a partir de ciertas características generales como lo son alturas auto-estables, distancias de radio de giro de la pluma, líneas de propiedad del terreno y ejes perimetrales del edificio en dos dimensiones, principalmente. Una vez teniendo esta ubicación se procede a realizar la primera visita a campo, donde se lleva una guía como la siguiente:

Empresa:	BILCO COSTA RICA S.A	Página 1 de 1	
Equipo mayor a instalar:		Fecha de la visita: _____ V.01	
Código del equipo mayor:	_____		
Proyecto:	_____		
Realizado por:	_____		

LINEA	Características del equipo	Observaciones importantes (distancias en metros)
1	Dimensión de los cuerpos	
2	Dimensión de la pluma	
3	Tipo de fundación	
4	Altura auto - estable	
5	Peso total del equipo mayor	
6	Otros:	
	Consideraciones, restricciones de espacio	Observaciones importante
11	Estructuras colindantes existentes	
12	Alumbrado público	
13	Tendido eléctrico (líneas primarias, secundarias, terciarias)	
14	Calles, carreteras, caminos, autopistas, servidumbres.	
15	Espacio libre para banquear otras grúas	
16	Condiciones meteorológicas	
17	Tipología de suelo	
18	Otros:	

Dibujos a mano alzada, bosquejos, esquemas.

Recibido conforme : _____

Figura 12. Tabla de condiciones y restricciones.

Fuente: Elaboración propia.

Cuando se obtuvo esta información, se procedió con el Departamento BIM, a modelar la información obtenida con el fin de encontrar interferencias entre las condiciones existentes y el modelo virtual del edificio. Cabe resaltar que también se involucró el Departamento de equipos de la compañía para que en conjunto se pudieran realizar múltiples propuestas de ubicación de las grúas, considerando tanto el armado como el desarmado de estas.

Como parte del proceso fue necesario realizar estudios de suelo para lograr determinar varios factores importantes como lo son capacidad soportante del suelo, tipología y estratos de suelo, tipo de prueba para determinar la capacidad soportante del suelo, profundidad de excavación para la placa, así mismo observar qué implicaciones con la obra, puede tener la construcción de la cimentación de la grúa con tuberías subterráneas permanentes del edificio u otros elementos.

También las visitas al sitio de construcción permitieron realizar consultas técnicas a los ingenieros involucrados, los cuales explicaron todo el proceso y la logística que lleva la instalación y el manejo de estos equipos mayores.

Como ayuda a las consultas técnicas se elaboró un cuestionario (Ver en Anexos), con el fin de profundizar en el juicio profesional y poder inclusive tener un panorama aún más claro de cómo planifican los procesos de instalación y manejo de equipos mayores, sin dejar de lado la importancia de la logística del sitio donde se va a llevar a cabo el desarrollo del proyecto de construcción.

A partir del criterio profesional y la experiencia adquirida de todos los involucrados en todo este proceso, se elaboró un documento de lecciones aprendidas para complementar la tabla de condiciones y restricciones.

OE2: Documentar las propuestas de planificación para la elaboración de las fases en la instalación y el manejo de los equipos.

Torre Universal Fase I tuvo 3 grúas torre debido a su gran extensión de huella de construcción y un tema de alcance con las entregas, principalmente, es decir agilizar procesos, tuvo también 3 elevadores de carga

por ser un edificio de altura considerable y cantidad de personal de campo, por lo que se describió cuáles fueron las fases de instalación, telescopaje y desmontaje de cada una de las grúas torre, así mismo con los elevadores de carga de personal.

Lo que conlleva a la planificación del manejo del colocador de concreto utilizado, también se tomó en cuenta con el fin de tener más claro qué herramientas se utilizaron y fueron realmente factibles para la ejecución del montaje y manejo de cada uno de los equipos.

La implementación de herramientas BIM durante todo el proceso facilitó la obtención de información relevante, por lo que se realizó un cuadro comparativo con una serie de ventajas y desventajas de la información para la construcción en manejo de equipos mayores en el sitio de construcción y su respectiva planificación de fases.

Cada una de las propuestas, elaboradas por el equipo de trabajo del proyecto TUN FASE I, para las diferentes fases tanto de montaje como ejecución del manejo de cada uno de los equipos mayores se resumió para desarrollar el segundo objetivo propuesto, obteniendo un documento de cómo se lleva a cabo una planificación BIM para la instalación y manejo de equipos mayores como grúa torres, elevador de carga y colocador de concreto.

OE3: Explorar la existencia de otras herramientas BIM que puedan complementar el proceso de planificación utilizado en el proyecto TUN Fase I.

Se realizó una búsqueda de herramientas BIM aplicables en el proyecto y se corroboró con el Departamento BIM de la empresa con cuáles herramientas cuenta la compañía, para lograr realizar una comparativa entre las opciones, con el fin de establecer criterios de uso y aporte en la implementación de estas herramientas durante la vida útil de un equipo mayor.

En conjunto con el Departamento BIM se determinó cuál herramienta aporta mayor valor en la ejecución de la instalación y el manejo de equipos mayores, para crear una base de datos y no incurrir en re-procesos o duplicar información en proyectos posteriores de magnitud semejante.

Resultados

A continuación se presentan los resultados obtenidos, por medio de cuadros y figuras con descripciones explicativas necesarias. En la misma secuencia en que se desarrolla el documento según la metodología anteriormente descrita.

Con el fin de obtener un panorama más claro del manejo y la planificación de los equipos mayores en cuestión, se realizaron una serie de entrevistas a los involucrados, de las cuales se obtuvo el juicio de cada profesional.

Los cuestionarios se elaboraron específicamente para las grúas y los elevadores de carga, ya que son de los equipos mayores con más complejidad en el manejo e instalación.

El resto de cuestionarios aplicados se encuentran en el apartado de anexos.

Questionario para involucrados.

- 1- ¿Qué consideraciones hay que tener en cuenta para instalar una grúa torre?
 1. definir la ubicación mas adecuada.
 2. Resistencia de suelo donde se instalara.
 3. Diseño de losa para su instalación.
- 2- ¿Qué criterio es de mayor importancia en la instalación de una grúa?

R. Las medidas de seguridad a contemplar, según las condiciones que se tengan en la zona donde se debe instalar.
- 3- ¿Cuál es el proceso correcto del montaje de una grúa?

R. Siguiendo las consideraciones e indicaciones señaladas en el manual de instalación del fabricante y que la realización de la labor sea por personal capacitado, con protocolos de seguridad definidos.
- 4- ¿Cuál es el proceso adecuado para el desmontaje de una grúa?

R. Se debe realizar la revisión previa de las labores, considerando las condiciones de espacio, equipos y maniobras a realizar, según el proceso indicado en el manual de instalación del equipo y las normas de seguridad de la empresa o zona donde se este laborando.
- 5- ¿Por qué eligieron esos modelos de grúa?

R. Para seleccionar el tipo de grúa a utilizar, se toman en cuenta la necesidades (alcances, el peso de la carga a izar, la altura. otro factor importante es el costo de los equipos factor importante en la selección de la grúa.
- 6- ¿Qué hay que tomar en cuenta para el telescopaje de las grúas? (Costo, plazo, altura, cronograma)
 1. La altura definitiva que se debe alcanzar, para selección de la grúa adecuada
 2. La ubicación de la grúa es importante para esta labor, se debe considerar tamaño de los accesorios necesarios para esta labor.
 3. Costo, considerar las vigas y placas para el arriostamiento, que no forman parte de la Grúa.
- 7- ¿Consideran que las herramientas BIM realmente funcionaron para el proceso, planificación y manejo de cada uno de los equipos mayores en cuestión?

R. Aportan un gran apoyo cuando se cuenta con la información necesaria de la grúa.
- 8- ¿Cuántas grúas se requieren y cómo se determina este número?

R. Esto se define según las necesidades que se desean cubrir.
- 9- ¿Cómo se determina la posición de los anclajes para realizar el telecopaje?

R. Están definidas en el manual de instalación de la grúa (Grúas arriostada según modelo).
- 10- ¿Qué opina usted de la altura auto-estable vs la estructura?

R. Sin comentarios.

Questionario 1. Para grúa torre.

Fuente: Encargados de equipos elaboración propia.

Cuestionario para involucrados.

- 1- ¿Qué consideraciones hay que tener en cuenta para instalar un elevador de carga?
 1. Tipo de suelo y capacidad soportante
 2. Si es sobre una losa/entrepiso, las cargas que transmite el equipo para su valoración con el diseñador del edificio.
 3. Puntos de anclaje de la torre y conexiones eléctricas.
- 2- ¿Qué criterio es de mayor importancia en la instalación de un elevador de carga?

R. Tener presente en todo momento las condiciones mínimas que se solicita, mediante la información técnica que brinda el fabricante y que sea realizado por personal capacitado.
- 3- ¿Cuál es el proceso correcto del montaje de un elevador de carga?

R. Siguiendo el protocolo indicado según manual de instalación.
- 4- ¿Cuál es el proceso adecuado para el desmontaje de un elevador de carga?

R. Siguiendo el protocolo indicado en el manual de instalación, en este caso el último paso realizado durante el montaje, será el primer paso para el desmontaje (revisar que el elevador, este 100% operativo).
- 5- ¿Por qué eligieron esos modelos de elevadores de carga?

R. Los modelos de elevadores se eligieron según las labores y condiciones que se requieren según la labor que se desea atender con los equipos.
- 6- ¿Qué hay que tomar en cuenta para la instalación de un elevador de carga? (Costo, plazo, altura, cronograma)

R. Principalmente las condiciones del sitio, donde se va a instalar. La condición del sitio marca la pauta para responder los incisos señalados.
- 7- ¿Consideran que las herramientas BIM realmente funcionaron para el proceso, planificación y manejo de cada uno de los equipos mayores en cuestión?

R. Las herramientas BIM son de gran apoyo para la gestión de selección y ubicación del equipo en un sitio determinado, siempre que se cuente con la información del equipo.
- 8- ¿Cuántos elevadores de carga se requieren y en cómo se determina este número?

R. Este dato va determinado por la labor que se desea atender, se determina según la necesidad que se halla que cubrir.
- 9- ¿Cómo se determina la posición de los anclajes para realizar el telecopaje?

R. Están especificados en el manual de instalación.

Cuestionario 2. Para elevador de carga.

Fuente: Encargados de equipos elaboración propia

Restricciones que se presentaron durante el desarrollo de la instalación de equipos mayores.

**Grúas Torre.
Grúa 1**

La grúa torre MCT 205, propiedad de la empresa constructora Bilco Costa Rica S.A, y la de mayor importancia en el proyecto.

Para esta grúa se tomó en cuenta volúmenes de aluminio compuesto que posee la fachada Norte del edificio, pues una de las condiciones fue proveer al menos 2,5 metros de separación con alguno de estos volúmenes.

En el momento de colocar la placa de cimentación esto representó reposicionarla para que cumpliera con la condición del retiro.

En la figura 13 se muestra tanto el primer trazo como el actualizado, hay un cuadrado semitransparente con cierto tono amarillento que representa la posición inicial y el cuadro de color amarillo sólido es la posición corregida, debido al retiro necesario para evitar problemas con el alcance arquitectónico.

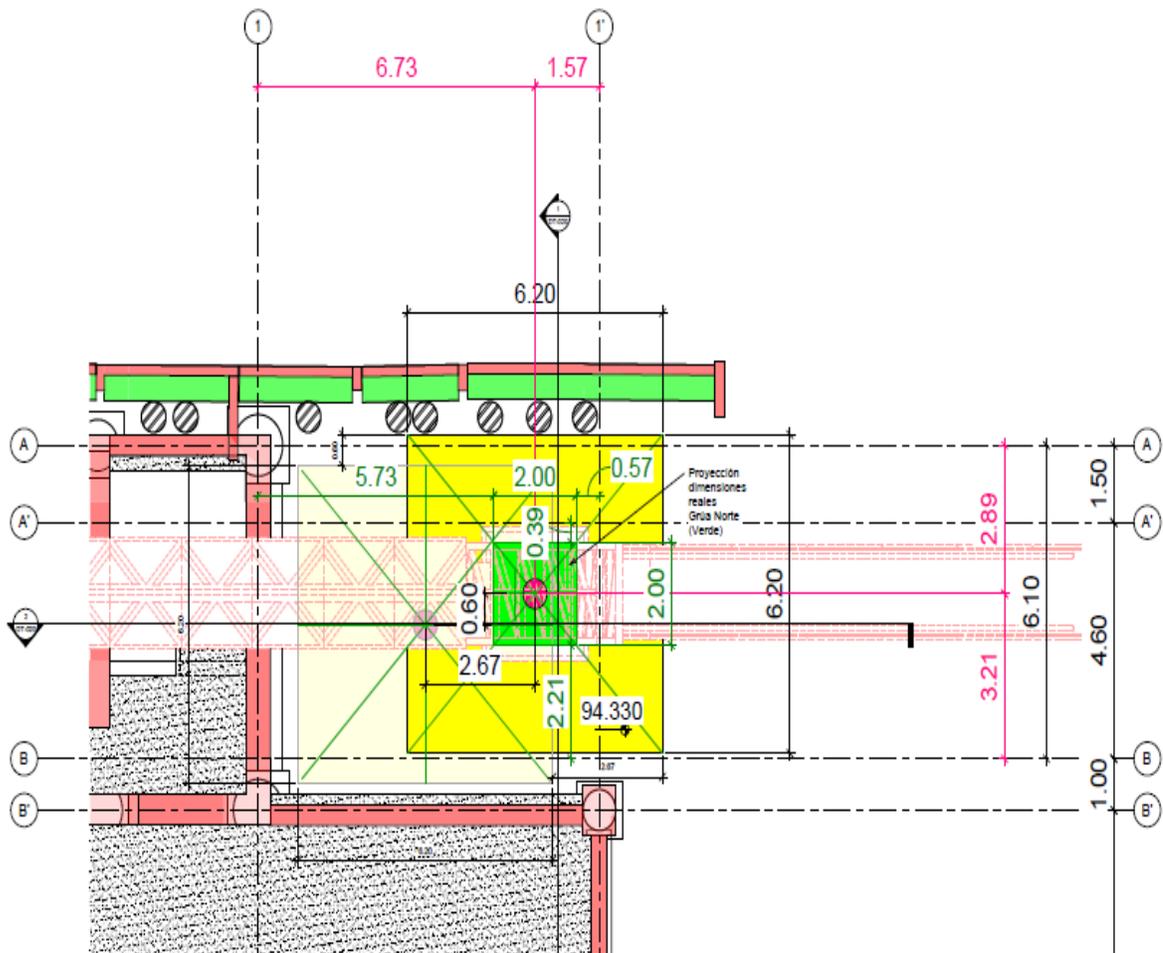


Figura 13 Plano de trazo de la fundación de la grúa 1.

Ahora bien en la figura 14 se muestran las elevaciones tanto del edificio como de la grúa,

y queda evidenciado que con la posición nueva cumple con el retiro de los 2,5 metros solicitados.

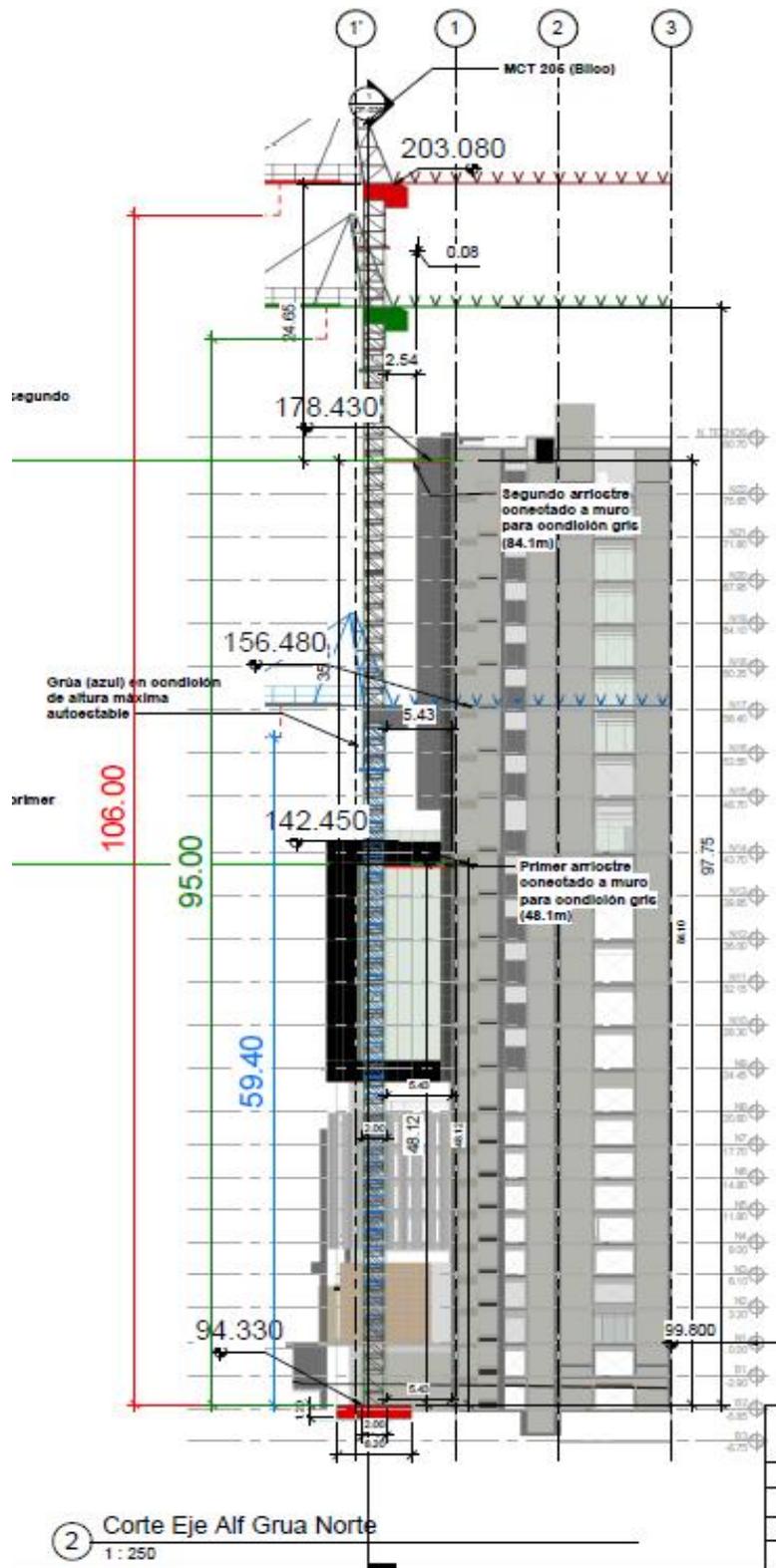


Figura 14 Elevación Oeste de Torre Universal Fase 1.

Grúa 2

La grúa MC 205, que fue alquilada durante el desarrollo de la obra, y fue la segunda grúa con más altura del proyecto.

Esta grúa fue la más compleja de posicionar debido a lo estrecho del lugar donde se deseaba colocar, ya que no se podía salir del límite de propiedad para su colocación y estaba rodeada por varios volúmenes de aluminio compuesto de fachada así como justo a la par del tendido eléctrico de alta tensión.

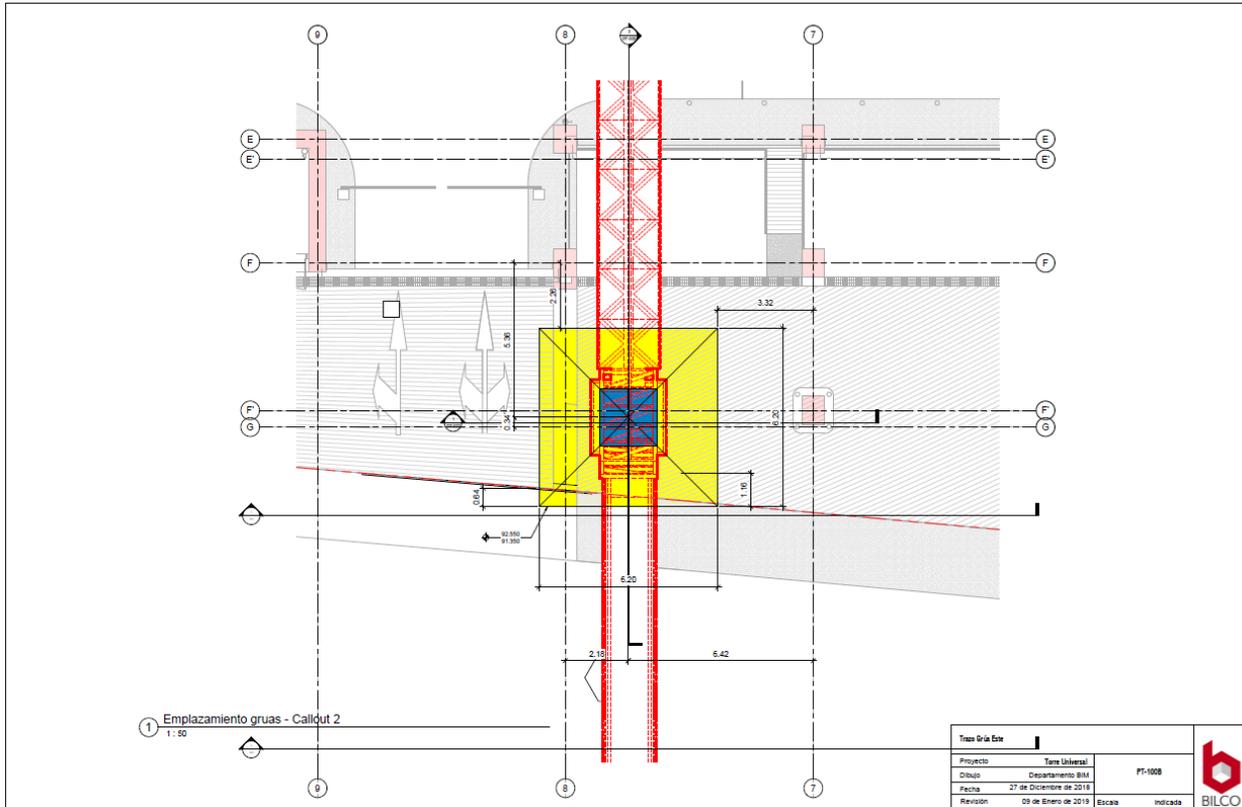


Figura 15 Posición de la grúa 2.

Fuente: Departamento BIM Bilco Costa Rica, 2020.

En la figura 15 se muestra la revisión que se realizó con los volúmenes de la fachada del edificio, en donde es evidente la poca holgura con la que se colocó esta grúa, cumpliendo apenas con el retiro deseado de 2.5 metros.

Se puede observar en la figura 16 como el volumen de aluminio compuesto (ACM) invade este retiro en el nivel 9, por lo que se coordinó un rediseño de esta fachada para poder incorporar la grúa.

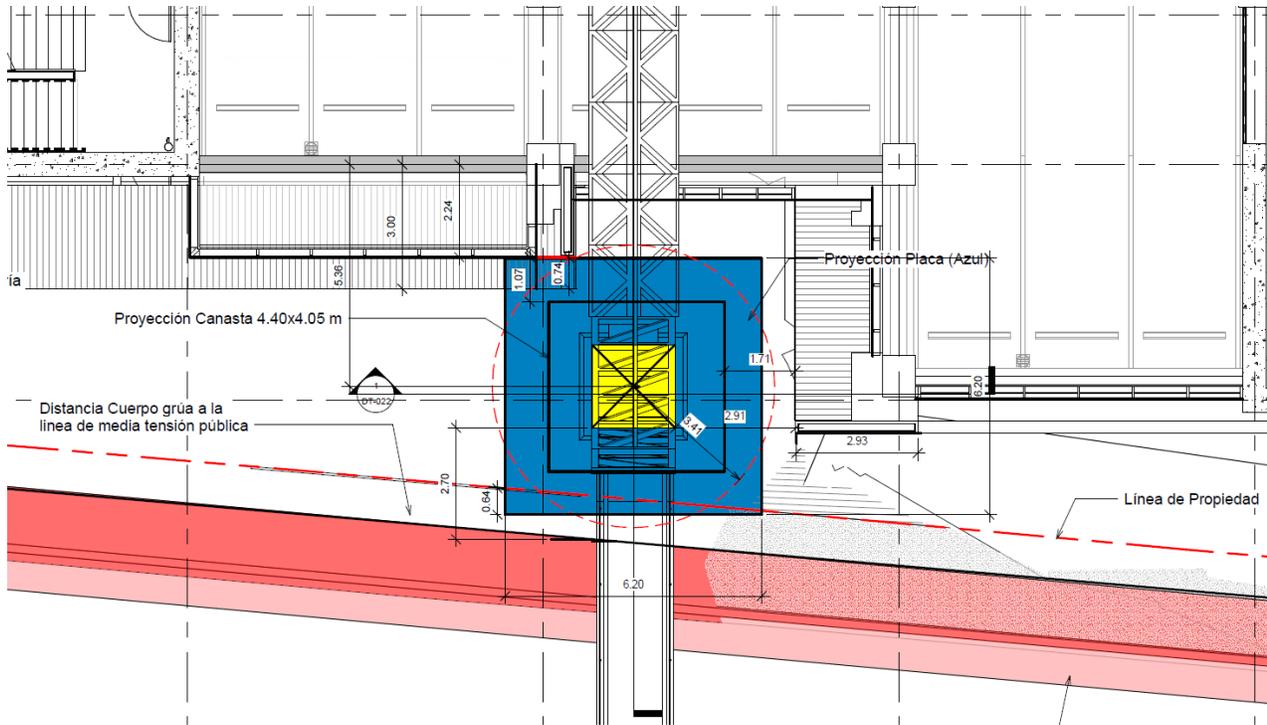


Figura 16 Interferencias detectadas posición de grúa vs edificio.
 Fuente: Departamento BIM Bilco Costa Rica, 2020.

Grúa 3

Grúa torre FM1350, propiedad de la compañía Bilco Costa Rica S.A, la única con fundación de cruciformes y cuerpos recuperables.

El posicionamiento de esta grúa, al usar cruciformes como fundación, es más práctico, ya

que se optó por colocarla en un sitio donde pudiera servir como acomodador de equipos y materiales, en una zona destinada para este fin.

Hubo mayor consideración para su colocación. Se logra ver que la distancia del centro de la grúa a la fachada sur del edificio es de 17 metros, por lo que no hubo interferencias mayores con el edificio, ver imagen 17.

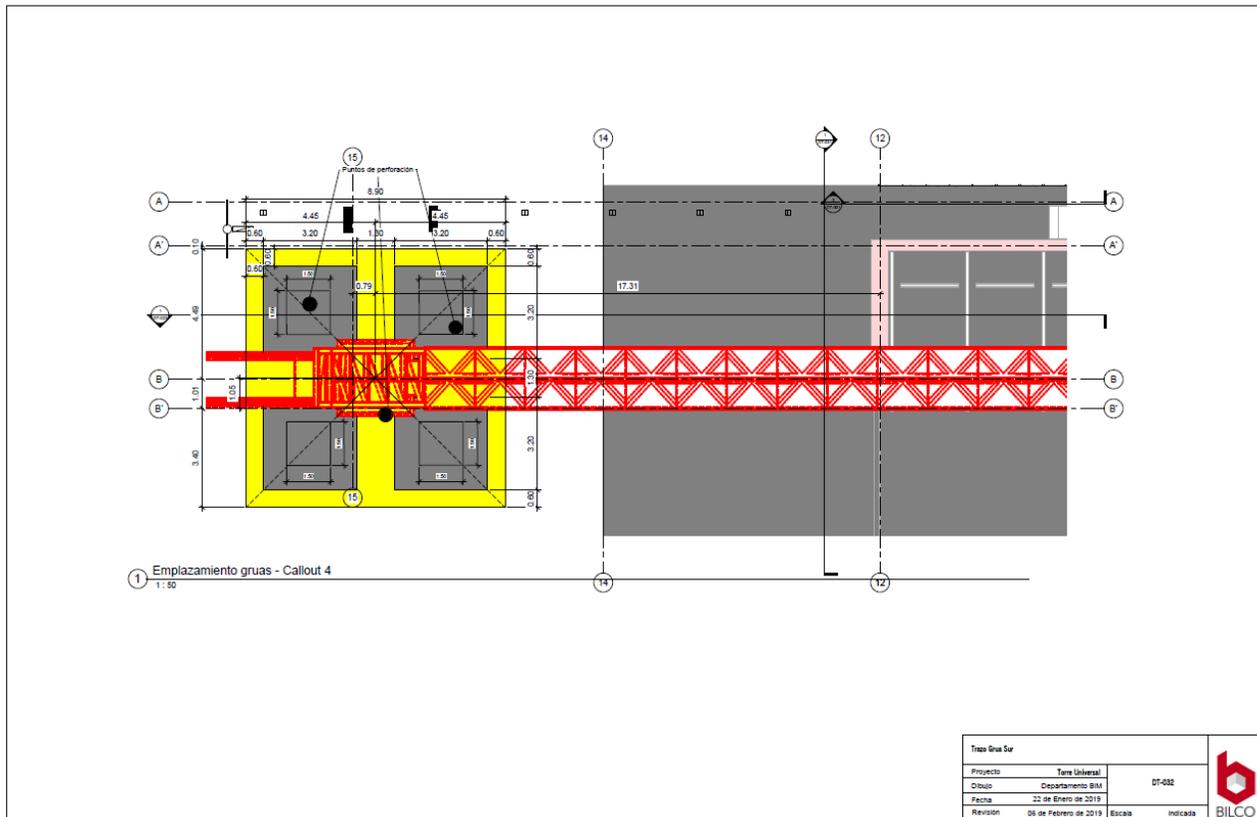


Figura 17. Retiro de la grúa 3 con el edificio.
Fuente: Departamento BIM Bilco Costa Rica, 2020.

Sin embargo, se tuvo que tener cuidado con las oficinas provisionales ya que estaba considerablemente cerca, principalmente con la instalación y el desmontaje de esta grúa.

Colocador de concreto.

En el siguiente cuadro 1 se encuentran las restricciones encontradas para el manejo del colocador de concreto, así mismo una posible solución ante cada restricción.

Cuadro 1. Restricciones encontradas para el colocador de concreto.

Parámetro	Restricción	Manejo
Tamaño	Poco espacio en el proyecto para almacenar el equipo	Diseño de sitio, establecer un lugar donde se pueda mantener el equipo
Tamaño	Poca distancia entre columnas y muros	Establecer posibles posiciones de uso adecuadas
Tamaño y peso	Traslado dentro del proyecto	Cada movimiento que se haga, únicamente es posible con grúa
Uso, Operación	Mucho desplazamiento elástico de la pluma	Advertir antes de utilizar el equipo y aislar con cadenas un perímetro mínimo
Tamaño	Traslado dentro del proyecto	Se debe estar al menos a 500 mm de distancia de cualquier obstáculo.
Trayectoria	Posible interferencia entre la tubería y el edificio	Establecer una trayectoria que no interrumpiera otros trabajos
Uso, Operación	Zona inestable	Asegurarse que tenga suficiente capacidad de soporte el plano de apoyo
Uso, Operación	Velocidad del viento	La velocidad del viento no deberá exceder 13.8 m/s cuando este en operación.*
Uso, Operación	Espacio reducido	Es apropiado reajustar el tope de giro.

*Escala Beaufort.

Fuente: Elaboración propia.

Propuestas de planificación para la elaboración de las fases en la instalación y el manejo de los equipos mayores.

Grúas Torre.

En primera instancia se tienen las grúas torre. En Torre Universal Fase 1, debido a la extensión del proyecto fue necesario colocar 3 grúas torre. Para cada una se tuvo que analizar su posición considerando los siguientes criterios iniciales:

- Altura máxima a la que se tiene que trabajar.
- Tipo de grúa dependiendo del inventario de la empresa y posibles alquileres.
- Longitud máxima de la pluma y capacidad de carga.
- Tipo de fundación.
- Posición en función con una distancia mínima de retiro con respecto al diseño arquitectónico del edificio.

- Posición en función de factores de riesgo de sitio.
- Restricciones para telescopajes.
Básicamente, los parámetros que se incluyeron dentro de la tabla de condiciones y restricciones elaborada. (Ver Figura 12.)

La grúa torre en todo proyecto de construcción es una herramienta clave en cuanto al avance del mismo, este es un equipo que debe ser orquestado de acuerdo a las necesidades de la obra para procurar que los rendimientos de la construcción sean óptimos.

Se va a mostrar cada paso de diseño para la colocación de cada grúa, esto con el fin de describir ampliamente el proceso que cada grúa llevó y cómo usando herramientas BIM se pudo definir las fechas de telescopajes para continuar con las obras sin causar retrasos.

TUN Fase 1 es un edificio que cuenta con 5 ductos principales que le dan rigidez, y basados en la separación entre ellos se decidió usar 3 grúas para poder llevar tareas paralelas en las zonas que las grúas abarcan. En la Figura 13 se puede observar lo que se menciona, donde los ductos se marcan en color rojo.

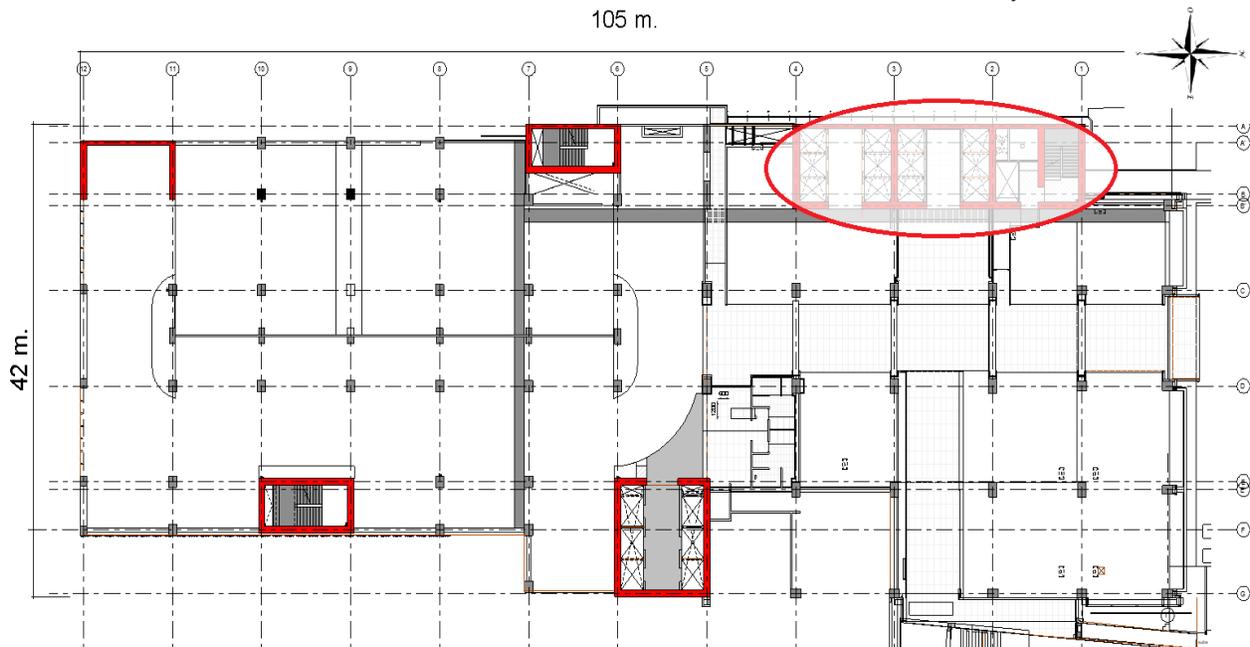


Figura 18. Ductos principales (rojo)
Fuente: Departamento BIM Bilco Costa Rica, 2020.

Esta grúa 1 se caracteriza por atender al ducto principal de elevadores. En la Figura 18 se observa como la configuración de esos muros es

la que abarca mayor área, ubicado al Noroeste del edificio, encerrado en un ovalo rojo.

Este ducto se caracteriza por el uso de formaleta vertical de sistema trepante, el cual permite una mayor velocidad de montaje y

desmontaje, siempre con la grúa, generando que su crecimiento sea más acelerado en comparación a las losas de entresijos.

Usando los criterios descritos anteriormente se procede a explicar el proceso de montaje.

- Altura máxima a la que se tiene que trabajar.

Este ducto abarca la totalidad de niveles del edificio, por lo que su altura es bastante extensa, como se puede observar en la elevación de la figura 19. Poder contar con estas elevaciones, hace más sencillo visualizar los telescopajes que se necesitan realizar a medida que el edificio crece, y esto se ahondará más adelante.

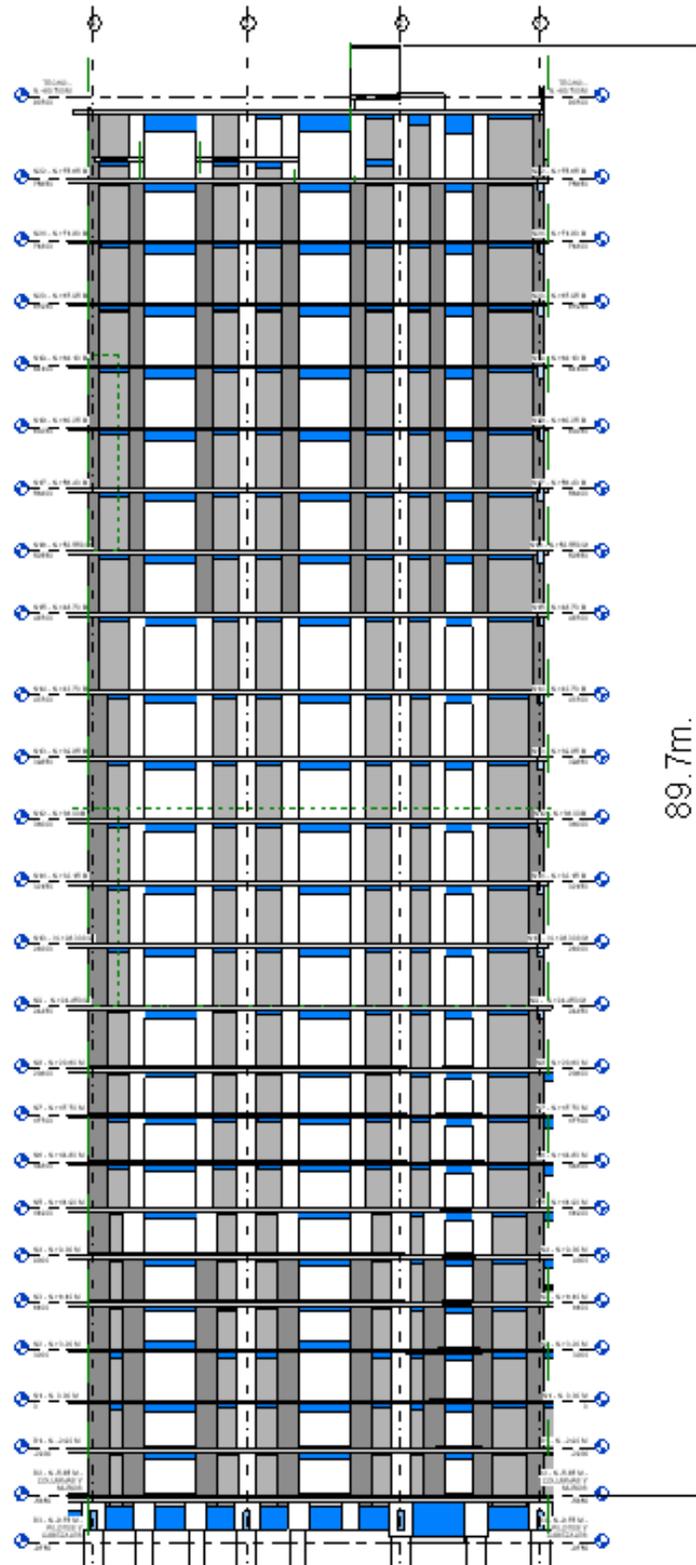


Figura 19 Elevación Ducto Elevadores principal NO.
 Fuente: Departamento BIM Bilco Costa Rica, 2020

- Tipo de grúa dependiendo del inventario de la empresa y posibles alquileres.

Para el momento de inicio del proyecto, la empresa cuenta con 3 tipos de grúas.

1. Potain MCT-205 (Bilco)
2. Potain MC-205 (Alquilada)
3. Potain FM-1350 (Bilco)

Para la colocación de estas grúas, se procedió a analizar el edificio como se hizo al inicio de este capítulo, categorizar el edificio de acuerdo a su concentración de muros, ya que la formaleta vertical es la que solicita mayor demanda de la grúa, y en la figura 18 se muestra que el núcleo de elevadores principal, entre ejes 1' y 4 con A y B' es el que cuenta con mayor densidad de muros, por lo que para ese sector se

decidió dejar la grúa MCT-205, que es la más avanzada tecnológicamente hablando.

Después para el ducto de elevadores entre ejes 5 y 6 con E y G se decidió usar la MC-205, considerando que, al ser esta grúa alquilada, su tiempo de uso es menor.

Por último, la zona entre los ejes 11 y 12 con A y B, contiene una configuración de muros que era importante trabajar con grúa, a pesar de que no llega a ser tan alto. También se destinó para el acomodo de equipos en una zona prevista.

Igualmente en la figura 20 se muestra un diagrama de posición tentativa de grúas, que necesita ser ajustado con los demás puntos que se desarrollarán en esta misma sección. Se tomó un radio promedio de 40 metros.

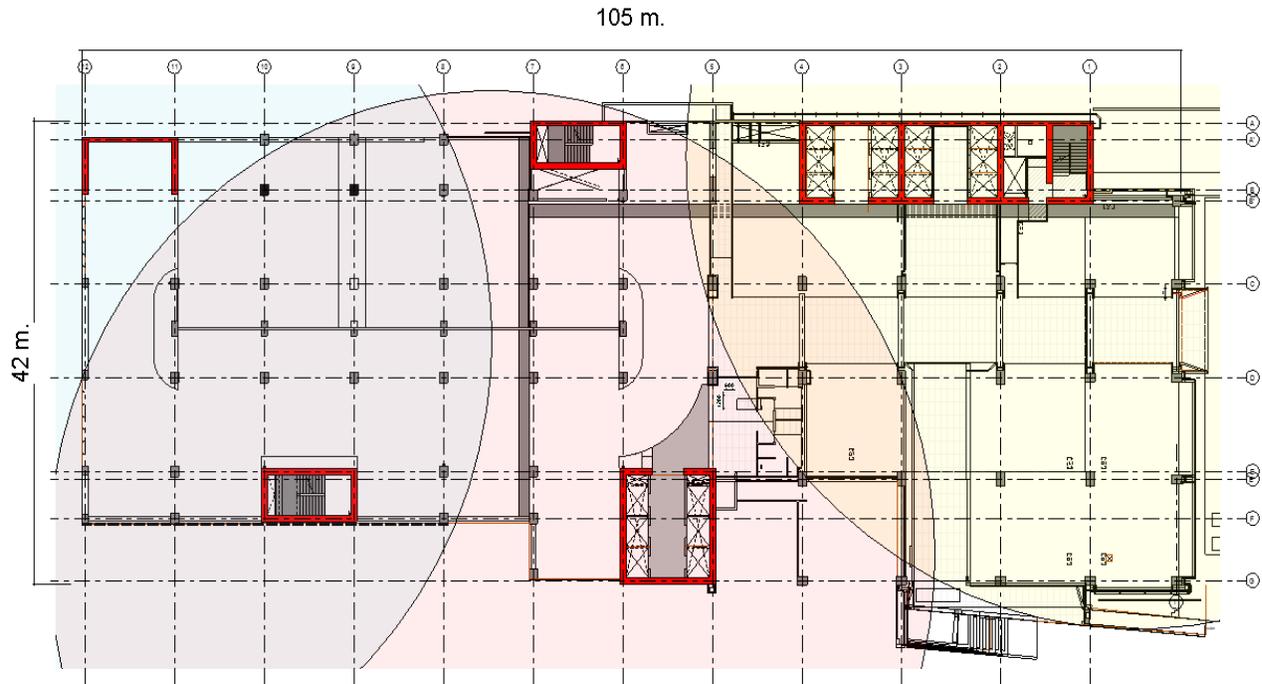


Figura 20 Diagrama de posición tentativa de grúas según radio de la pluma.

Fuente: Departamento BIM Bilco Costa Rica, 2020.

- Longitud máxima de la pluma y capacidad de carga.

La longitud máxima de la pluma es un buen indicio para colocar preliminarmente, pues puede predecir el número de grúas necesarias en función de la extensión del proyecto en construcción.

Es necesario comprender que, a mayor longitud de pluma, los pesos por levantar disminuyen proporcionalmente, y depende también del modelo de la grúa. En la figura 21 se ilustra lo descrito anteriormente con la grúa Potain MC-205.

Potain MC 205

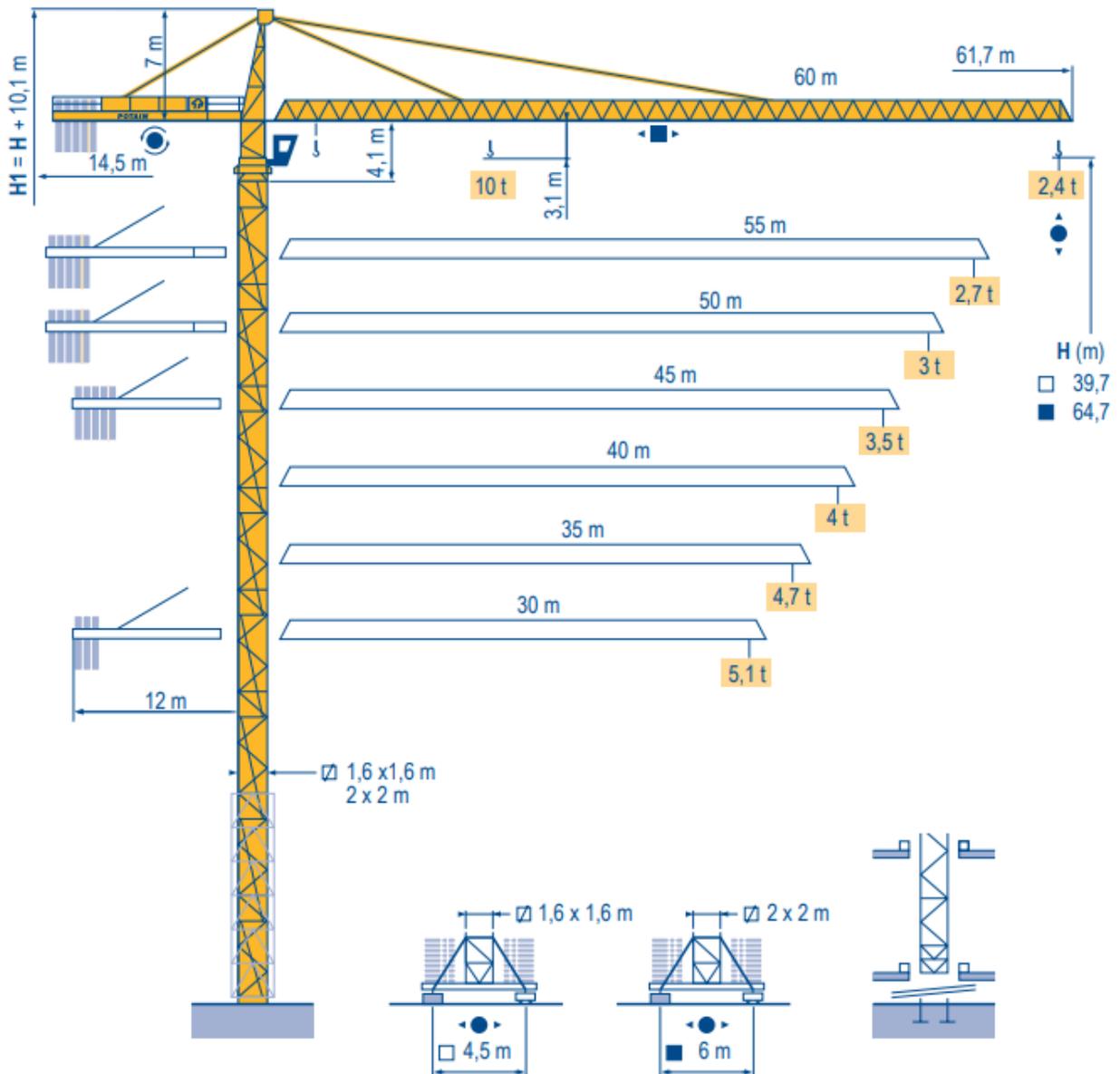


Figura 21. Relación capacidad carga vs longitud de la pluma para la Grúa Potain MC-205.

Ahora bien en la figura 22 se muestra el mismo tema pero para la Potain MCT 205, donde se puede observar que hay una ligera diferencia

de capacidad de carga entre modelos de grúa con la misma longitud de pluma.

Potain MCT 205

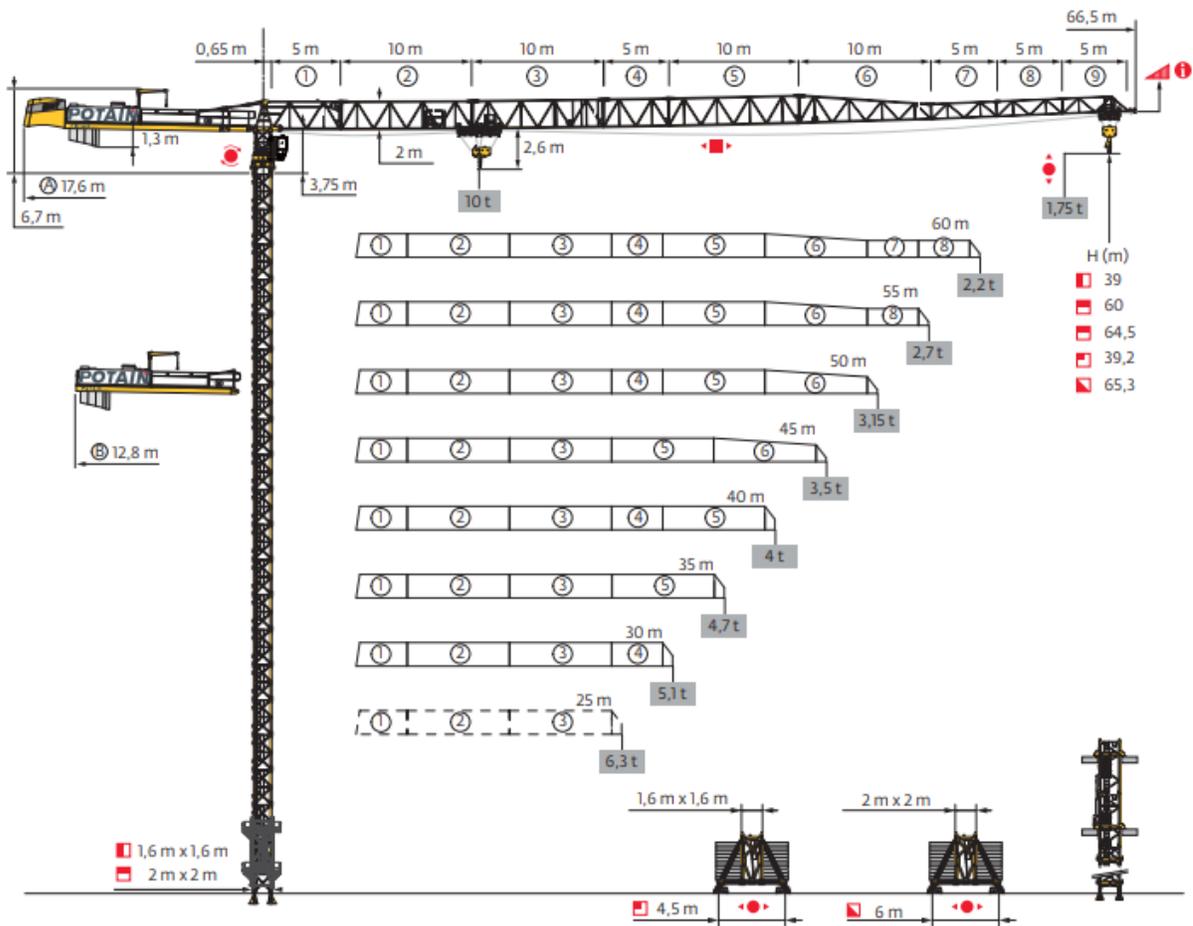


Figura 22. Relación capacidad de carga vs longitud de la pluma para la Grúa Potain MCT-205

- Tipo de fundación.
Torre Universal Fase 1 contó con 2 tipos de fundaciones para las grúas:

1. Cruciforme: este tipo de fundación es muy versátil por su facilidad de armado y es 100% recuperable, siendo casi en su mayoría superficial. No requiere mayor intrusión en movimientos de tierra.

2. Losa de fundación: este tipo de fundación se hace de manera subterránea, pues necesita de un estrato donde la capacidad de soporte sea la adecuada para las condiciones estructurales que la grúa va a experimentar durante su uso, no es recuperable, pues dentro de la losa

se necesita embeber los anclajes de los cuerpos de la grúa. Ver figura 23.



Figura 23 Placa de fundación para grúa Potain MC-205.

Es importante considerar el tipo de fundación, pues la huella de cada grúa es distinta, generalmente la cruciforme es más amplia en extensión. Esto ayuda a definir mejor la posición de la grúa.

- Posición en función con una distancia mínima de retiro con respecto al diseño arquitectónico del edificio.

Los retiros son determinados por el montaje y desmontaje de la grúa, se necesita de un anillo que permite insertar nuevos cuerpos en la grúa.

El anillo tiene dimensiones mayores a las de los cuerpos de la misma, ver figura 24. Por eso en su montaje es necesario considerar

volúmenes arquitectónicos y darles un retiro para asegurar un desmontaje seguro.

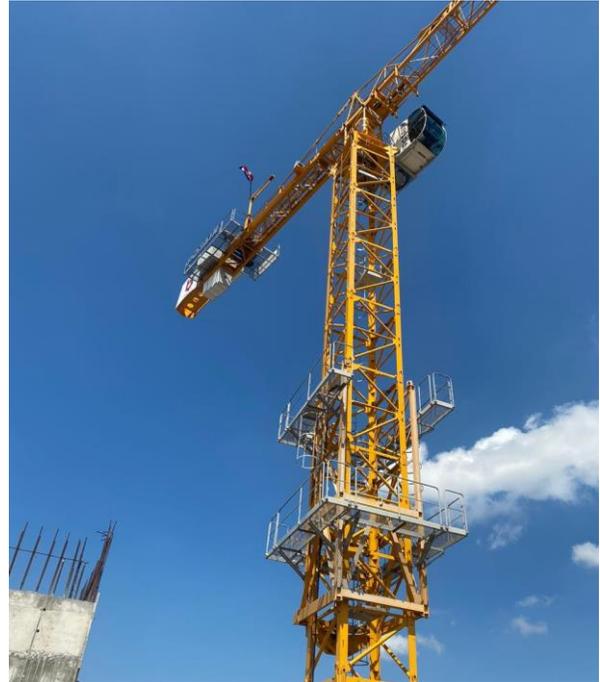


Figura 24 Anillo de la grúa para instalar más cuerpos.

Basado en estos supuestos anteriores se describe las posibles posiciones de las grúas en la imagen de la figura 25.

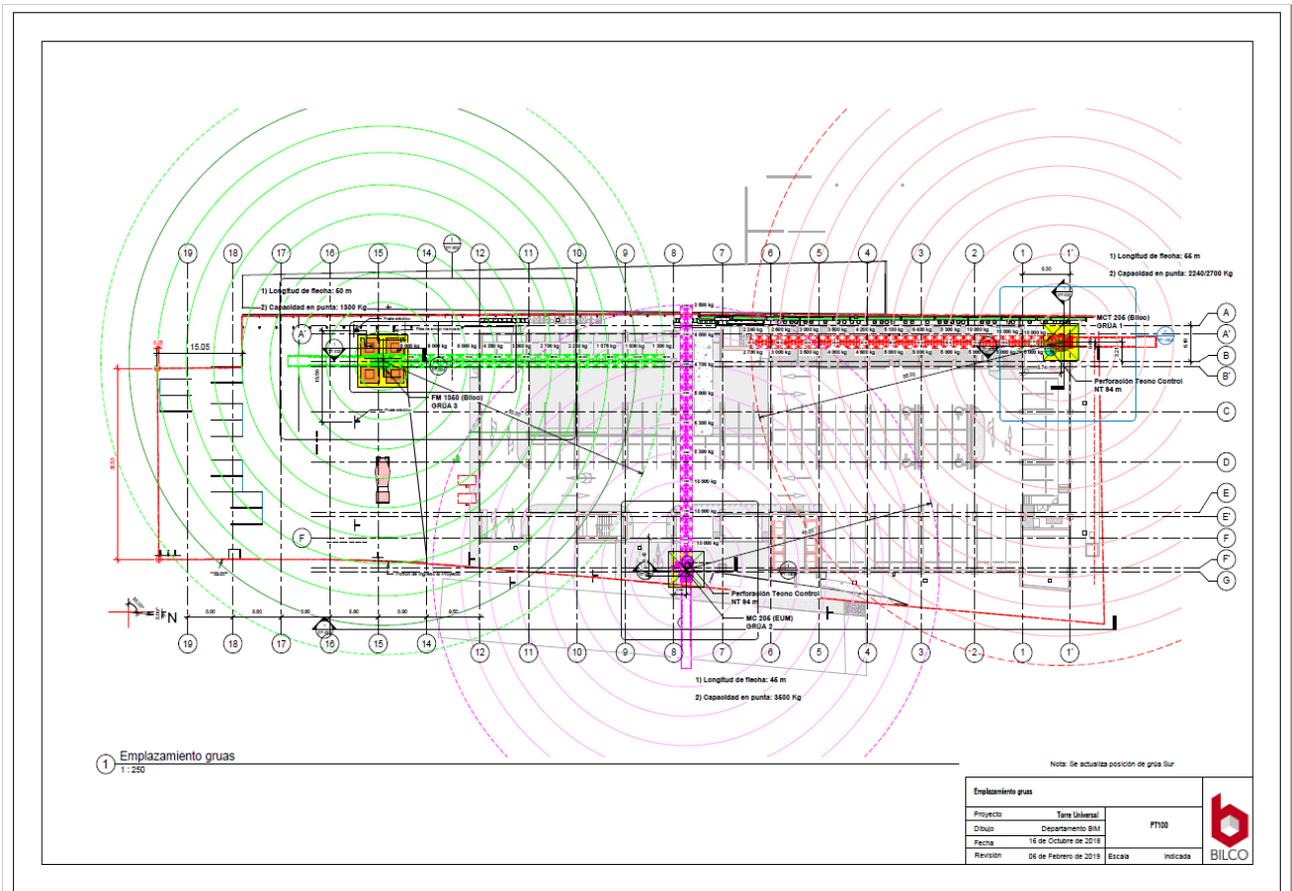


Figura 25 Emplazamiento de grúas.
Fuente: Departamento BIM Bilco Costa Rica, 2020.

Colocador de Concreto

También conocido como Pluma distribidora de concreto o en inglés como Mobile Placing Boom, el cual presenta una serie de características o

parámetros específicos importantes para la operación del equipo.

- Máximo radio de operación de la pluma distribidora; 15000 mm, ver figura 26

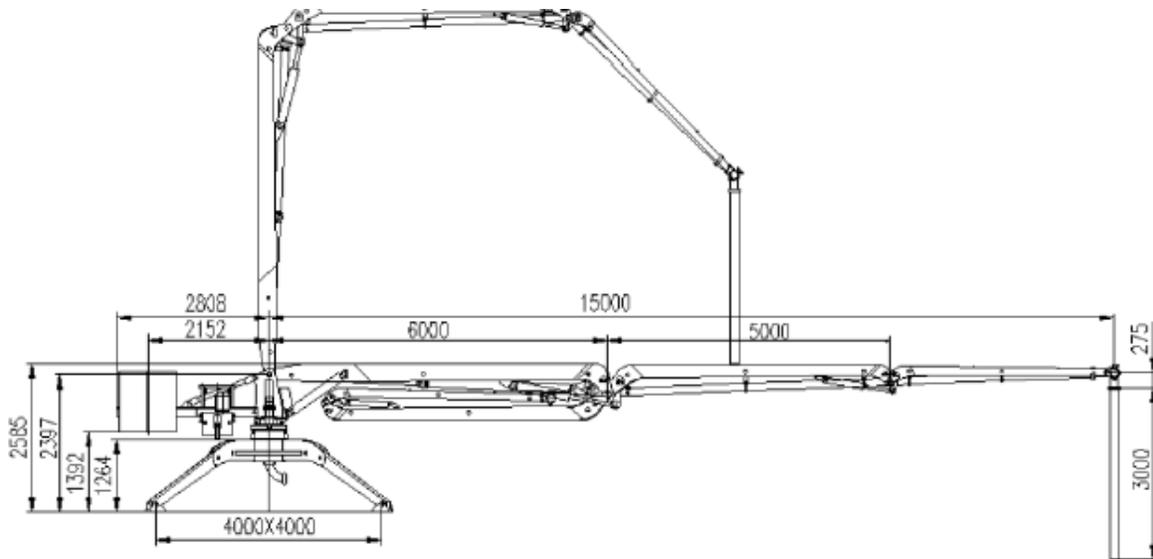


Figura 26. Extensión de la pluma distribuidora de concreto.

- Altura máxima de vaciado de la pluma distribuidora; 14000 mm.
- Profundidad máxima de vaciado de la pluma distribuidora; 10000 mm.
- Rango de elevación de la pluma distribuidora, de 0° a 90°. Sin embargo cuando las tres secciones de la pluma están completamente abiertas es necesario mantener un ángulo de máximo 80°. Ver figura 27

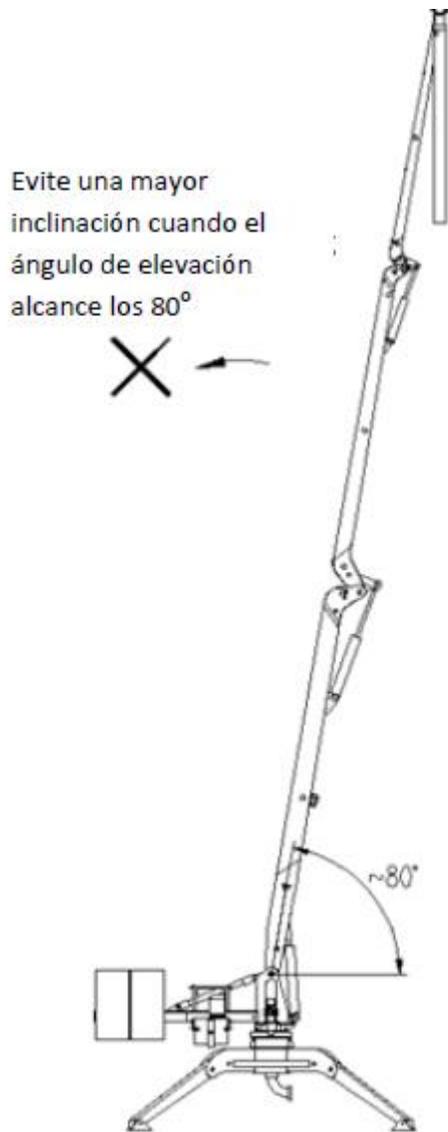


Figura 27. Ángulo máximo recomendable.

Nota: en anexos se adjuntará un diagrama del rango de operación del equipo.

- Rango de giro de la pluma distribuidora: 0° a 360°, es decir, el giro completo.
- Espacio entre estabilizadores: 4000 x 4000 mm.
- Masa de la máquina completa: 3200 kilogramos.
- Masa del contrapeso: 2200 kilogramos, 1100 kilogramos cada uno.

Entre los principales riesgos encontrados en la operación de la pluma distribuidora de concreto, a partir de los parámetros específicos, se tiene que se da desplazamiento elástico de la pluma del colocador de concreto y se muestran en el cuadro 1.

De este modo, conociendo las restricciones y las posibles afectaciones se llevó a cabo la elaboración de tres propuestas, en conjunto con el departamento BIM, para el uso adecuado del colocador de concreto de acuerdo a la planta del edificio en la que se estuviese colocando el concreto de elementos verticales.

La primera fue para los niveles de parqueos, en el cual había rampa y se tenían que colar 12 elementos verticales, un muro en forma de C y 11 columnas, y fue necesario establecer dos posiciones, por el tema principalmente de la pendiente.

En la figura 28, se muestra la propuesta de las dos posiciones anteriormente descrita. Cabe mencionar que se establecieron 8 distintas posiciones para abarcar el colado de los elementos verticales.

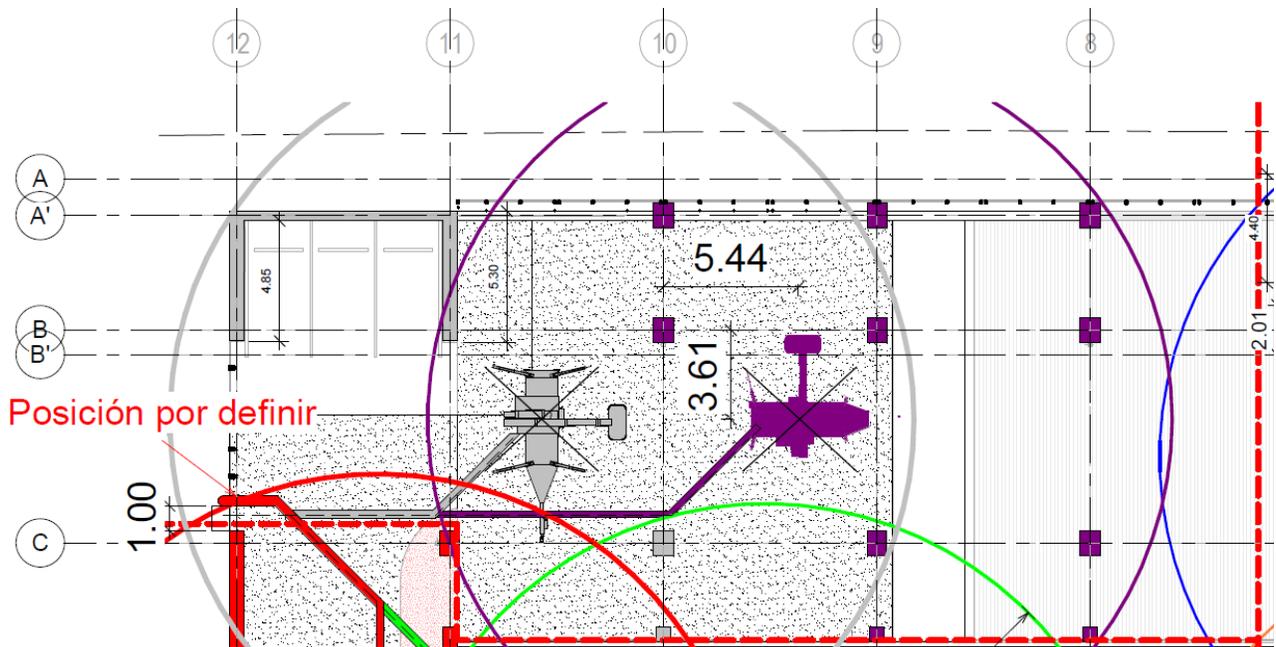


Figura 28. Posiciones del colocador de concreto en el edificio.

Para la propuesta número dos, ya no se tiene la rampa, debido que son niveles de oficina,

por lo que se propone únicamente 6 posiciones para colar la mayoría de los elementos verticales.

Elevadores de Carga.

Como se mencionó con anterioridad, Torre Universal Fase 1, al ser un proyecto tan extenso, y no solo en huella sino en altura también, fue necesario la instalación de 3 elevadores de carga, de los cuales en primera instancia se iban a utilizar 2 del nivel B2 (Sótano 2) al nivel 14, y 1 del nivel 15 al nivel 22. Ver Figura 29.

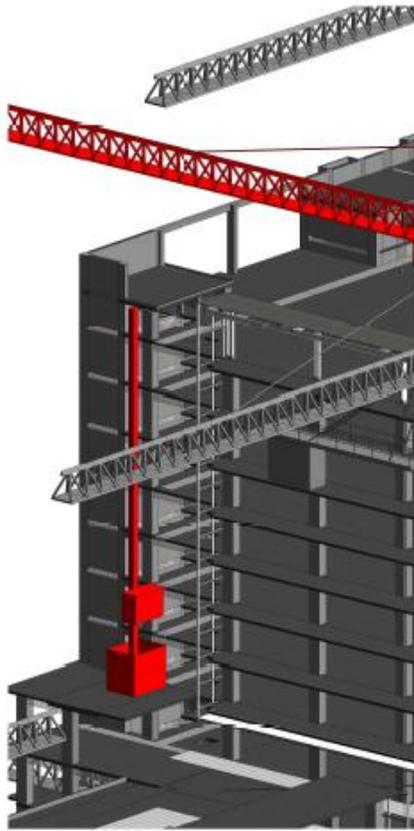


Figura 29 Tercer elevador que iba del N15 al N22.
Fuente: Departamento BIM Bilco Costa Rica, 2020.

Al final se utilizaron los tres del nivel B2 al nivel 14, para agilizar el traslado del personal y movimientos de materiales principalmente. Como se muestra en la figura 30.

La decisión de utilizar los 3 elevadores de carga únicamente del nivel B2 al N14, fue porque se pudo determinar que era probable incurrir en atrasos a la hora de forrar esa fachada, ya que donde iba a ser la salida del elevador lleva una pared en liviano.

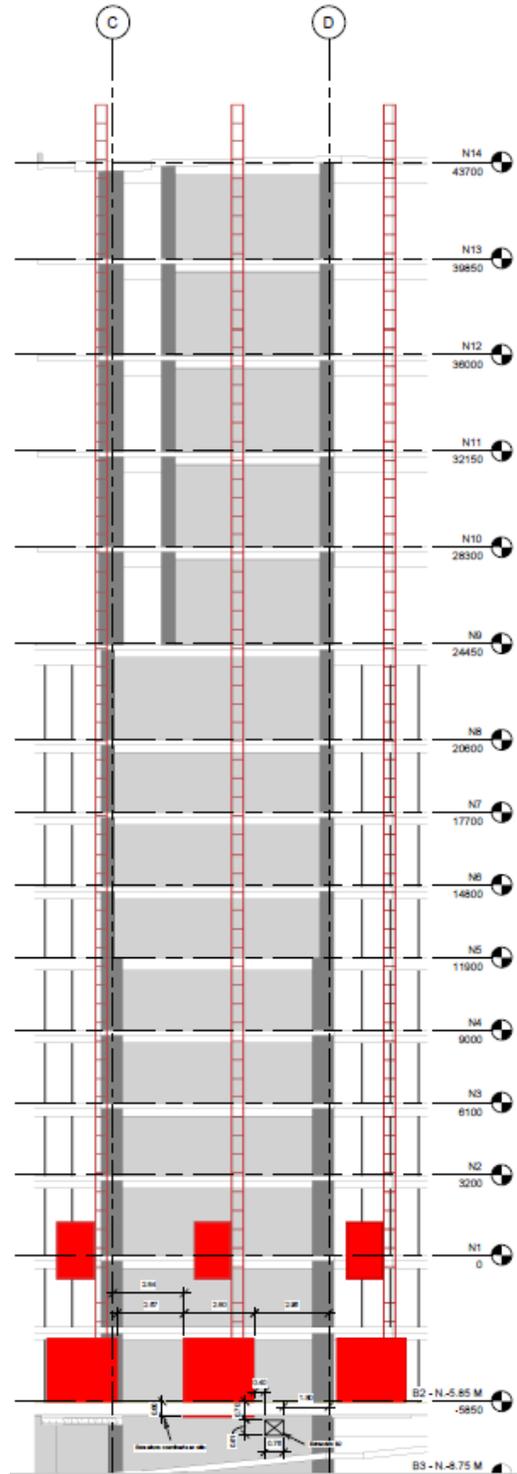


Figura 30 Ubicación final de los 3 elevadores de carga.
Fuente: Departamento BIM Bilco Costa Rica, 2020.

Los elevadores de carga requieren de arriostres, como los que se muestran en la figura 31, y se deben colocar máximo a cada 9 metros de altura entre cada soporte.

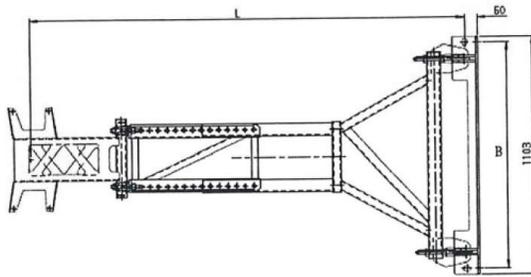


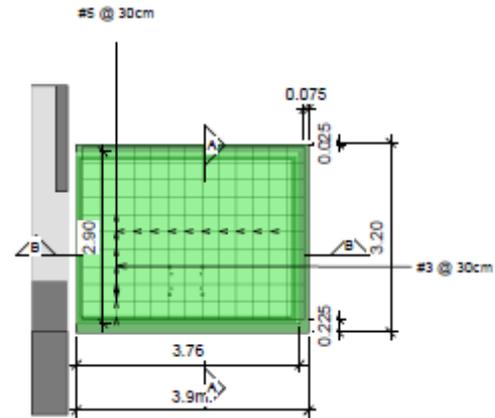
Figura 31. Arriostre para realizar el telescopaje del elevador de carga.

Para la instalación se tuvieron restricciones de espacio, ya que la zona no estaba en óptimas condiciones, es decir no se tenía el terreno compactado ni plano ya que había un corte de terrenos para generar la terraza de construcción del edificio.

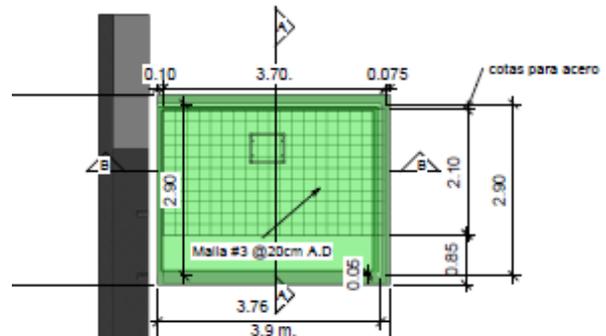
En cuando a restricciones con el edificio no hubo, más que tener los cuidados necesarios en el momento de arriostrear el elevador, ya que las losas son post-tensadas, y la posibilidad de tocar un torón tensado era muy altas.

El elevador cuenta con un encierro rectangular y por recomendaciones de los instaladores se debía tener una separación mínima de 2.5 metros. Dentro de este encierro están los cuerpos donde va sujeta la cabina y el cable que alimenta la cabina.

A cada elevador se le diseño una placa de fundación para que soporte el elevador, como se muestra en la figura 32.



6 Planta de acero inferior



5 Planta de acero superior

Figura 32 Placa de fundación de los elevadores de carga.
Fuente: Departamento BIM Bilco Costa Rica, 2020.

Una vez con la placa lista, es posible comenzar con la instalación como tal, y como se tiene las fechas de crecimiento del edificio fue posible en conjunto con el departamento BIM, generar un diagrama de fases, así como para las grúas, con fechas muy aproximadas de telescopajes y no incurrir en atrasos.

En la figura 33 se muestra la secuencia de instalación para el elevador #1, el cual se hizo en 3 fases.

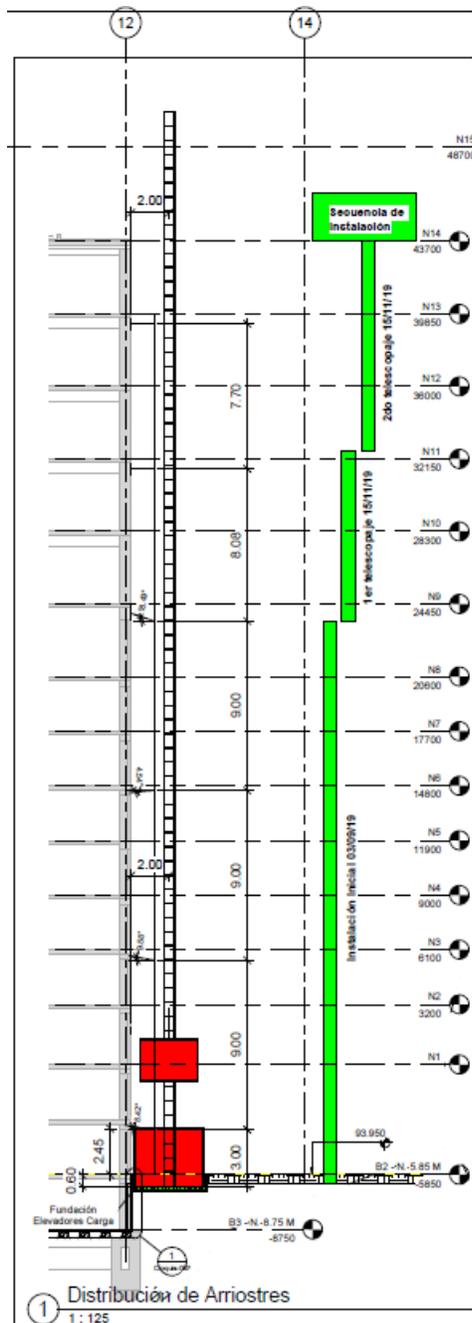


Figura 33 Diagrama de fases de instalación y telescopajes elevador #1

Fuente: Departamento BIM Bilco Costa Rica, 2020.

Por último, se tiene la búsqueda de herramientas BIM que puedan ser aplicadas como complemento ante la planificación, la instalación y el manejo de equipos mayores.

Otras herramientas BIM para el apoyo de la planificación en la instalación y manejo de equipos mayores en un proyecto de construcción.

REVIT (Eastman, Teicholz, Sacks, & Liston, 2011)

Como herramienta, Revit proporciona una interfaz fácil de usar, con sugerencias de arrastre para cada operación y un cursor inteligente.

Sus menús están bien organizados, de acuerdo con el flujo de trabajo y sus menús de operador atenúan las acciones no disponibles en el contexto actual del sistema.

El soporte para generar dibujos es muy bueno, su producción de dibujos está fuertemente asociada, por lo que las versiones de dibujo se gestionan fácilmente. Ofrece edición bidireccional desde el dibujo hacia y desde el modelo, y también edición bidireccional desde horarios para puertas, hardware y similares.

Revit admite el desarrollo de nuevos objetos paramétricos personalizados y la personalización de objetos predeterminados. Su conjunto de reglas para definir objetos paramétricos ha mejorado con cada actualización e incluye funciones trigonométricas.

Puede restringir distancias, ángulos y los objetos numéricos en una matriz. También admite relaciones jerárquicas de parámetros. Por lo tanto, un objeto puede ser definido utilizando un grupo de subobjetos con relaciones paramétricas.

Resulta más complicado establecer parámetros globales que puedan restringir el diseño y el tamaño de los ensamblajes de objetos.

La actualización del API (Programación en Revit) proporciona un buen soporte para el desarrollo de aplicaciones externas.

Revit tiene un conjunto muy grande de bibliotecas de productos, particularmente su propia biblioteca Autodesk Seek para especificaciones y diseño de objetos paramétricos. Los productos están definidos por una mezcla de tipologías de archivos: RVA, DWG, DEF, DGN, GSM, SKP, IES y TXT. Son accesibles desde Masterformat, Uniformat y Omniclass Table 23 Format. Hay alrededor de

media docena de otros tipos con productos BIM, donde dominan los objetos Revit.

Como plataforma, Revit como herramienta BIM, tiene mayor conjunto de aplicaciones asociadas. Algunos son enlaces directos a través de Revit Open API (Dir) y otros son a través de IFC u otro formato de intercambio. DWF es otra interfaz para Revit.

Estructural: Revit Structure (Dir), ROBOT (Dir) y RISA Structure Analyses (IFC). Otros formatos de intercambio como SismiCAD para FEA análisis, ARCHE, Fastrak Building Designer, BIM ME S.A.R.L ETABS Link.

Mecánico: Revit MEP (Dir), TOKMO, HydraCAD, QuantaCAD, MagicCAD.

Visualización: Metal Ray (Dir), 3D Max (Dir), Piranasi.

Gestión de instalaciones: Autodesk FMDesktop (DWF), Archibus (IFC).

Revit con interfaces como AutoCAD Civil 3D para análisis de sitios, Autodesk Inventor para para fabricación de componentes y con LANDCADD para planificación de sitio. Innivaya también proporciona enlaces de simulación 4D con MS Projects.

Revit admite también enlaces a Autodesk Navisworks a través de DWF. VICO Office admite tanto la programación como los despieces de cantidades.

Esta plataforma puede importar modelos de SketchUp, Google Earth, herramientas de diseño conceptual y otros sistemas que exportan archivos DXF. Revit es una plataforma sólida, especialmente debido a su gama de aplicaciones de soporte.

Revit como un ambiente, lleva identificadores de objetos y parece administrarlos bien. Sin embargo, la información de versión y cambios se lleva a nivel de archivo, no a nivel de objeto. Esto limita la sincronización de objetos con diferentes vistas en diferentes archivos.

Revit es una plataforma pero no un entorno BIM. Necesita poder administrar objetos, de forma similar a la capacidad del servidor ArchiCAD DELTA, si es para admitir entornos BIM a gran escala.

ArchiCAD.

Es la aplicación BIM más antigua comercializada continuamente para el diseño arquitectónico. Graphisoft, la empresa matriz, comenzó a comercializar ArchiCAD a principios de la década

de 1980. Con sede en Budapest, Hungría, Graphisoft fue adquirida en 2007 por Nemetscheck, una empresa alemana de CAD, popular en Europa, con fuertes aplicaciones de ingeniería civil.

ArchiCAD es compatible tanto con la plataforma Mac como con Windows. Es una aplicación de 32 bits que se ejecuta en las versiones de 32 y 64 bits de Windows o Mac Snow Leopard OS.

ArchiCAD como herramienta, cuenta con una interfaz de usuario bien diseñada, con cursores inteligentes, arrastre sobre sugerencias de operador y menús de operador sensibles al contexto. Su generación de modelos y facilidad de uso amada por su base de usuarios leales.

La elaboración de dibujos en ArchiCAD es administrada de forma automática por el sistema, cada edición del modelo se actualiza automáticamente en diseños de documentos, detalles, secciones e imágenes en 3D, se pueden insertar fácilmente en diseños. Los dibujos se tratan como informes y no son bidireccionales.

Como herramienta de modelado paramétrico, ArchiCAD incorpora una gama muy amplia de objetos predefinidos. Incluye capacidades de modelado para planificación del sitio, para interiores y proporciona capacidades sólidas de planificación del espacio. Además, hay 31 sitios web externos que definen objetos estáticos y paramétricos para ArchiCAD.

Admite la generación de objetos paramétricos personalizados a través de secuencias de mando con su lenguaje de descripción geométrica, que se basa en construcciones de tipo CSG y una sintaxis similar a Visual Basic, Macros de Excel.

Contiene extensas bibliotecas de objetos para usuarios, por ejemplo:

- Concreto prefabricado.
- Albañilería.
- Acero.
- Madera.
- Protección termal y de humedad.
- Plomería.
- HVAC.
- Electricidad.

Su modelado paramétrico definido por el usuario tiene algunas limitaciones, su herramienta de dibujo y las reglas paramétricas no admiten expresiones algebraicas o condicionales.

También tiene una interfaz de conectividad de base de datos abierta (OBDC), las cuadrículas o controles globales son posibles pero complejos, puede representar y hacer referencia a formas hechas con superficies curvas complejas, pero estos no son objetos mecanografiados de ArchiCAD y no pueden editarse localmente.

Cuando ArchiCAD fue adquirido por Nemetschek, fortaleció su enfoque de diseño y lanzó su primer paso a la gestión de la construcción con VICO.

ArchiCAD como plataforma tiene enlaces a múltiples herramientas en diferentes dominios. Algunos son enlaces directos a través de GDL y otros de IFC.

Estructural: Tekla (if), Revit Structure (if), Fem Design (IFC), AxisVM (IFC), Scia Engineer (Dir) y SAP & ETABS (IFC).

Mecánico: Graphisoft MEP Modeler (IFC), Revit MEP (IFC) y AutoCAD MEP (IFC).

Visualización: Maxon Cinema 4D para animaciones y modelado de forma libre, Artlantis y LightWork Design para renderizar.

Gestión de instalaciones: One Tools y ArchiFM.

El sitio Web de inicio de ArchiCAD proporciona tutoriales para llevar a cabo intercambios IFC particulares, utilizados en algunas de estas interfaces, Incluye Virtual Building Explorer 3D, una herramienta de navegación.

También admite interfaces directas con varias herramientas externas, incluida la importación de Google, SketchUp, Tacoma Link y Express para los despegues de cantidades para el cálculo de costos y programación.

Recientemente, ArchiCAD ha fortalecido aún más sus interacciones con IFC y proporciona un buen intercambio bidireccional. Sus funciones de intercambio IFC incluyen clasificación de objetos, filtro por tipos de objetos y gestión de versiones a nivel de objetos.

ArchiCAD como un ambiente, ha abordado el intercambio de archivos y coordinación de diseño mediante el desarrollo de una capacidad de actualización inteligente, llamada servidor DELTA, que rastrea las lecturas y escrituras en su repositorio del servidor BIM. Los accesos son controlados directamente por el usuario para acceder a esos objetos o regiones del proyecto de interés.

Sin embargo, las actualizaciones del servidor se comparan con lo que se exportó y solo con los objetos modificados (recién creados, modificados o eliminados) se devuelven al servidor en las actualizaciones.

Estos se administran utilizando ID de objetos y las marcas de tiempo son actualizadas cuando se realizan cambios, lo que brinda la oportunidad de rastrear el historial de objetos durante la vida útil del proyecto.

Bentley Systems.

Esta plataforma ofrece una amplia gama de productos relacionados con la arquitectura, ingeniería, infraestructura y construcción. Su herramienta BIM de arquitectura fue introducida en el 2004, a partir de la evolución de Triforma (un producto anterior), actualmente se llama Bentley Architecture.

Bentley es un producto importante en el mercado de la ingeniería civil y la infraestructura.

Bentley como herramienta de modelado de edificios y producción de dibujos, tiene un conjunto estándar de objetos paramétricos predefinidos, que tienen relaciones entre sí. Los objetos paramétricos predefinidos solo se pueden extender a través de la interfaz de programación de aplicaciones MDL, es decir con el API.

Bentley también admite objetos paramétricos personalizados, utilizando el módulo de estudio de células paramétricas, el modelado paramétrico global o de nivel de ensamblaje es compatible con componentes generativos.

Cada uno de estos conjuntos de herramientas diferentes, tiene objetos con un comportamiento diferente y no puede soportar relaciones con objetos generados por un conjunto de herramientas distinto.

Bentley tiene un motor integrado de renderizado, Luxology, el cual es rápido y proporciona renderizaciones y animaciones de alta calidad. Para las producciones de dibujo, los detalles 2D y las anotaciones en una sección del modelo 3D son bien compatibles.

Para la edición de dibujos, los objetos predefinidos son bidireccionales, pero los otros objetos deben editarse en el modelo para actualizarlos. Sus capacidades de dibujo son sólidas, muestran grosores de línea y texturas reales. Es fácil agregar propiedades a las clases de objetos.

El interfaz de usuario tiene buenas características, por ejemplo arrastre sobre las sugerencias del operador, un cursor inteligente y configuraciones de menú definibles por el usuario.

Bentley Architecture con sus diversos módulos, es un sistema grande con mucha funcionabilidad, pero se dificulta más el acceso y dominio a la plataforma. Admite la importancia de objetos externos y detección de conflictos.

Las aplicaciones de la plataforma Bentley Microstation son sistemas basados en archivos, lo que significa que todas las acciones se escriben inmediatamente en un archivo y dan como resultado menores cargas en la memoria.

Además sus herramientas básicas de modelado de diseño, tiene una gran variedad de sistemas adicionales, muchos de los cuales adquirieron en apoyo de sus productos de ingeniería civil. Por mencionar algunos, los siguientes:

- Bentley Speedikon Architecture.
- Bentley PowerCivil.
- RAM Steel.
- Bentley Building Electrical Systems V8i para AutoCAD.
- Bentley Tas Simulator.

Algunos de estos productos fueron adquiridos mediante la compra de pequeñas empresas de terceros y solo tienen una compatibilidad limitada con otros dentro de la misma plataforma. Por lo tanto, un usuario puede convertir formatos de modelo de una aplicación Bentley a otra.

El usuario debe acoplarse a las convenciones de la interfaz del programa ya que tiende a variar un poco. Los sistemas de programación pueden importarse y agruparse con objetos Bentley para simulación 4D.

Las interfaces de Bentley Architecture incluyen: DWG, DXF, PDF, U3D, 3DS, Rhino 3DM, IGES, Parasolid, ACIS SAT, CGM, STEP AP203/AP214, STL, OBJ, VRML, Google Earth KLM, SketchUp, Collada y ESRI SHP. Los productos son extensibles, admite Macros, Microsoft (VBA), NET, C++, C# y Bentley MDL.

Bentley como un ambiente, ofrece un servidor multiproyecto bien desarrollado y popular, conocido como Project Wise.

Project Wise admite la replicación de archivos, en un conjunto predeterminado de sitios locales, administrando la consistencia de todos los archivos. También permite enlaces para

administrar las relaciones entre DGN, DWG, PDF y documentos de Microsoft Office.

Tekla Structures.

Tekla Structures es ofrecido por una empresa finlandesa, fundada en 1966 con oficinas en todo el mundo, conocida como Corporación Tekla. Tekla tiene múltiples divisiones: edificación y construcción, infraestructura y energía.

Su producto de construcción inicial fue Xsteel, que se introdujo a mediados de la década de 1990 y se convirtió en la aplicación de detallado de acero más utilizada en todo el mundo.

Admite múltiples usuarios que trabajan en el mismo modelo del proyecto en un servidor. Actualmente, no admite interfaces B-Spline o BURBS.

Tekla a principios de la década del 2000, agregó diseño de concreto prefabricado y detalles a nivel de fabricación para prefabricados estructurales y arquitectónicos.

En el 2004, el producto de software actualizado pasó a llamarse Tekla Structures, para reflejar su soporte ampliado, que incluye el acero, el concreto prefabricado, la madera, el concreto reforzado y la ingeniería estructural, recientemente, ha agregado capacidades de administración de construcción.

Es una plataforma que admite creciente gama de productos. Además de las estaciones de edición de detalles completos, también ofrece ingeniería, gerente de proyectos y estaciones de visualización.

Todas las herramientas proporcionan la funcionabilidad necesaria para la fabricación manual y automatizada. Admite una interfaz de usuario similar a Windows 7, con sugerencias de operador de arrastre, cursor inteligente y menús configurables por el usuario. Tiene una buena funcionabilidad para personalizar objetos existentes o crear nuevos objetos paramétricos.

Sin embargo, es un sistema complejo con una rica funcionalidad que tiene una curva de aprendizaje bastante pronunciada y adicional cuesta mantener actualizado.

Como plataforma Tekla ofrece soporte de interfaz para una amplia gama de otras aplicaciones, a continuación se enlistan algunas:

- AxisVM
- Diaminds.
- Buildsite.

- SAP2000.
- Trimble LM80.
- Fastrak.

Tekla tiene una interfaz de programación de aplicaciones abierta. También admite una amplia gama de formatos de intercambio, algunos nativos de otras aplicaciones como se muestra a continuación:

- AutoCAD (.dwg)
- Microsoft Project (.xml)
- Microstation (.dgn)
- IGES (.iges, .igs)

- SAP

Como ambiente Tekla admite el acceso simultáneo de usuarios al mismo proyecto, lo que permite reservas en el objeto o un nivel de agregación de objetos superior. Lleva identificadores de objeto y marcas de tiempo, lo que admite la gestión a nivel de objeto.

A continuación se enlista una serie de ventajas y desventajas de cada uno de las plataformas BIM investigadas.

Cuadro 2 Ventajas de plataformas BIM

Plataforma BIM	Ventajas
Revit	Como herramienta de diseño, es fuerte, intuitivo y sus herramientas de dibujo son excelentes.
	Revit permite utilizar herramientas para programar diseños más libres y utilizar los resultados al modelar.
	Revit es fácil de aprender y sus capacidades están organizadas en una interfaz bien diseñada y fácil de usar.
	Tiene un conjunto muy amplio de bibliotecas de objetos.
	Debido a su posición dominante en el mercado, es la plataforma preferida para interfaces de enlace directo con otras herramientas BIM.
	Su soporte de dibujo bidireccional permite actualizaciones y gestión de la información desde las vistas de dibujo y modelo, incluidos los horarios.
	Es compatible con la operación concurrente en el mismo proyecto.
	Revit incluye una excelente biblioteca de objetos (SEEK), que admite una interfaz de múltiples usuarios.
Bentley Systems	Bentley ofrece una gama muy amplia de herramientas de modelado de edificios.
	Admite el modelado con superficies curvas complejas, incluidas Bézier y B-Splines.
	Incluye múltiples niveles de soporte para desarrollar objetos paramétricos personalizados, como el Parametric Cell Studio y los componentes generativos.
	Sus componentes generativos, plug-in de modelado paramétrico, permiten la definición de conjuntos complejos de geometría paramétrica y se han utilizado en muchos proyectos de construcción premiados.
	Bentley proporciona soporte escalable para proyectos de gran magnitud con muchos objetos.
	Proporciona capacidades multiplataforma y de servidor.
ArchiCAD	ArchiCAD versión 14 tiene una interfaz intuitiva y relativamente simple de usar.
	Cuenta con grandes bibliotecas de objetos
	Cuenta con un amplio conjunto de aplicaciones de soporte de diseño, construcción de sistemas y gestión de instalaciones.
	Se puede utilizar en todas las fases, excepto en los detalles de fabricación.
	Sus capacidades de servidor facilitan la colaboración efectiva del proyecto
	Se comienza a admitir la coordinación de diseño a nivel de objeto, por delante de las capacidades de otros sistemas.
	También es compatible con la plataforma Mac.
Tekla Structures	Tiene capacidad versátil para modelar estructuras que incorporan una amplia gama de materiales estructurales y detalles.
	Tiene capacidad de soportar modelos muy grandes y operaciones concurrentes en el mismo proyecto y con múltiples usuarios simultáneos.
	Admite bibliotecas de componentes personalizados paramétricos definidos por el usuario, incluida la personalización de sus objetos proporcionados.

Fuente: Elaboración propia.

Cuadro 3 Desventajas de las plataformas BIM

Plataforma BIM	Desventajas
Revit	Revit es un sistema en memoria que se hace lento significativamente para proyecto de más de 300 megabytes.
	Tiene algunas limitaciones en las reglas paramétricas.
	Tiene un soporte limitado para superficies curvas complejas.
	Al carecer de marcas de tiempo a nivel de objeto, Revit aún no proporciona el soporte necesario para la gestión completa de objetos en un entorno BIM.
Bentley Systems	Las grandes ofertas de productos de Bentley están parcialmente integraas, a nivel de consistencia de datos e interfaz de usuario.
	Lleva más tiempo aprender y navegar.
	Sus módulos funcionales heterogéneos incluyen diferentes comportamientos de objetos, lo que se suma a los desafíos de aprendizaje.
	Las debilidades en la integración de sus diversas aplicaciones reducen el valor y la amplitud del soporte que estos sistemas proporcionan individualmente.
ArchiCAD	Tiene algunas limitaciones menores en sus capacidades de modelado paramétrico en el momento de personalizar los objetos.
	Si bien ArchiCad es un sistema en memoria y puede encontrar problemas de escala con proyectos grandes, tiene formas efectivas de administrar proyectos grandes, incluida la capacidad del servidor DETLA.
	Presenta limitaciones paramétricas en el momento de personalizar objetos, ya que no admite expresiones algebraicas o condicionales.
Tekla Structures	Si bien es una herramienta poderosa, su funcionalidad completa es bastante compleja de aprender y utilizar por completo.
	El poder de sus componentes paramétricos es impresionante y aunque es una fortaleza, requiere operadores dedicados que deben desarrollar altos niveles de habilidad.
	Puede importar objetos con superficies complejas de múltiples curvas desde aplicaciones externas y estos puede ser referenciados pero no editados.
	Es realmente caro, adquirir esta herramienta.

Fuente: Elaboración propia

Análisis de los resultados

Restricciones encontradas y propuestas para la planificación y el manejo de equipos mayores en el proyecto Torre Universal Fase I.

Entrevistas y tabla de condiciones y restricciones.

De estos cuestionarios realizados se pudo sacar el provecho suficiente, para poder enriquecer el análisis de los resultados, ya que se tiene de alguna manera el conocimiento y la experiencia de profesionales, encargados y otros en la rama.

La gran mayoría de los involucrados considera que sí resulta importante incluir el Departamento BIM en la planificación y el manejo de los equipos mayores, siempre que se tenga una buena comunicación entre departamentos y un conocimiento constructivo para tener criterio en el momento de modelar.

Se coincide en casi todas las consideraciones para la elección e instalación de una grúa torre, de acuerdo a los criterios obtenidos de todos los involucrados en el proyecto. Donde resulta de mayor importancia sacar el máximo provecho al equipo.

Tanto para los elevadores de carga como para las grúas, el tema más importante a considerar es la altura del edificio, por lo que se establece como otro punto importante adicional a la hora de elegir un equipo mayor.

Lo deseable es contar con una grúa torre con suficiente altura auto-estable, con el fin que no requiera arriostres al edificio, ya que al final resultan incómodos. Sin embargo muy pocas veces se logra tener esta condición, ya que en la actualidad los proyectos verticales son considerablemente altos. Es necesario considerar

el diseño de arriostres para lograr tener el crecimiento de la grúa para trabajar.

De los encargados de equipos se obtuvo información valiosa sobre los procesos de instalación, manejo, mantenimientos, en espacial de las grúas y los elevadores de carga.

El operador del colocador de concreto, con base a su experiencia pudo mostrar buenas prácticas del uso del mismo, así como los mantenimientos y fue de gran importancia para llegar a utilizar el colocador de concreto en elementos horizontales como losas de entrepiso.

Por otra parte la hoja de la tabla de las condiciones reales de sitio y las restricciones, que se muestra en la figura 12, ayudó a tener un panorama más claro en el momento de ir a modelar de manera virtual.

Así mismo queda demostrado que con cada equipo mayor a instalar se dan condiciones distintas y posibles restricciones que hasta la visita en campo se logran determinar y del mismo modo hasta que se elabore en el modelo 3D se pueden encontrar discrepancias o interferencias con el edificio.

Se realizó únicamente una tabla de las condiciones reales de sitio y las restricciones, que se muestra en la figura 12, para los tres elevadores de carga, ya que se tenía mucha cercanía entre ellos, por lo que las condiciones eran bastante parecidas, por la uniformidad de la fachada para los anclajes y la altura del edificio.

En cuanto a las grúas sí se realizó una tabla de las condiciones reales de sitio y las restricciones, que se muestra en la figura 12, para cada una, ya que las condiciones y restricciones cambiaban considerablemente una grúa de la otra.

Grúas

Torre Universal Fase 1 es un proyecto de más de 80.000 metros cuadrados de construcción y se aproxima a los 100 metros de altura, con una huella de entrepiso de 105 metros de largo por 42 metros de ancho, como se puede observar en la figura 13 en los resultados.

Como consecuencia a esta gran envergadura se puede justificar por qué el proyecto requirió el uso de 3 grúas torre, adicional a esto los tiempos de entregas

contratados y los distintos acabados del edificio, era necesario tener movimientos eficientes y productivos.

Precisamente por la cantidad de actividades en las distintas áreas y frentes de trabajo del edificio fue necesario planificar cómo se iban a llevar a cabo. A partir de las fechas de entrega y la cantidad de trabajo que se contrató se puede tener una noción de la cantidad de grúas con las que va a contar un proyecto.

De los principales parámetros para instalar una grúa torre son la altura máxima necesaria para trabajar, telescopajes y arriostres de anclaje, y desmontaje de la grúa.

La ubicación de la grúa se rige a partir del desmontaje de la misma, y con la altura necesaria para contemplar el trabajo de los arriostres de anclaje al edificio, para poder realizar el telescopaje.

Existen grúas autoestables de gran altura, incluso que superan los 80 metros autoestables, pero este no es el caso, ya que la empresa constructora no cuenta con este tipo de grúas. Por lo que es necesario planificar el

manejo de los telescopajes de todas las grúas a utilizar en este proyecto.

Se puede decir que el radio de giro alcanzado de cada una de las grúas también juega un papel importante en la elección de cuál grúa usar, ya que hay tareas de montaje de formaleta vertical, acarreo de formaleta horizontal, sacas con acero ferrallado, colado de elementos estructurales mediante balde y demás tareas que conforman la logística de trabajos.

TUN Fase 1 al presentar una huella extensa y tener colindancia con carretera nacional al norte y vecinos al oeste, se determinó que era necesario usar una grúa #1 al noroeste, una grúa #2 al este y otra grúa #3 al suroeste del edificio.

Con esta configuración fue posible abarcar toda la huella del edificio sin ningún problema, como queda evidenciado en la figura 20. Pensando también en el desmontaje de cada una de ellas.

La secuencia de telescopajes fue de la siguiente manera:

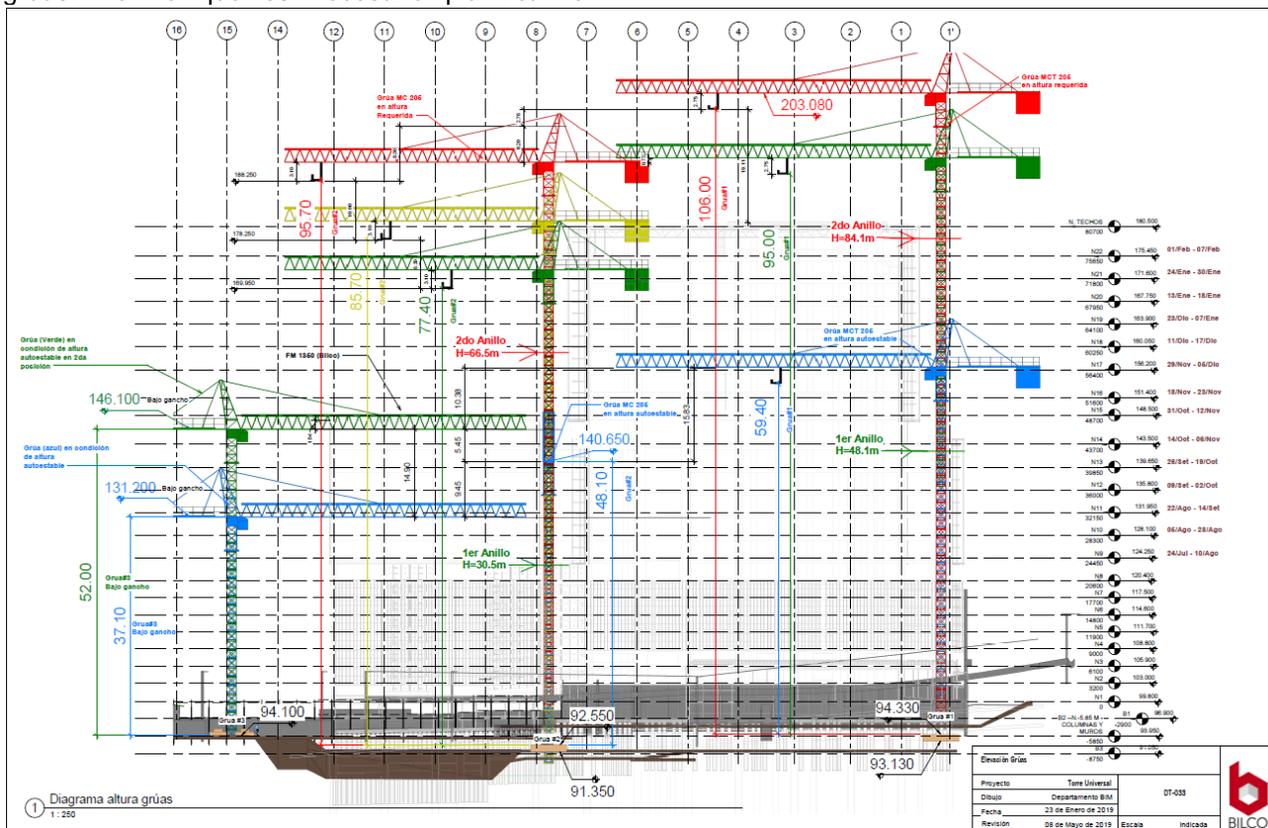


Figura 34 Diagrama de telescopajes de las grúas.

Fuente: Departamento BIM Bilco Costa Rica, 2020.

Se puede observar que la grúa #1 (derecha de la figura 34) se instala en condición auto-estable por encima de la grúa #2 (centro de la figura 34) que también se encuentra en condición auto-estable. El telescopaje de la grúa #2 se realiza primero, porque su condición es de altura máxima auto-estable y la velocidad con que crece el edificio en obra gris requiere que el telescopaje para que se pueda seguir trabajando sin presentar problema alguno.

Como la grúa #1 tenía una condición auto-estable con mayor altura, se procede con el telescopaje de la misma porque así lo dicta el ducto principal de elevadores, el foco de trabajo de esta grúa.

Para el segundo telescopaje de la grúa #2, se debió realizar en dos partes, porque se determinó en conjunto con el departamento BIM que iban a colisionar la grúa #1 con la grúa #2, por lo que se decidió realizar el montaje del arriostre y llevar a cabo el telescopaje sólo de 3 cuerpos y dejar los otros 3 cuerpos para después de haber efectuado el telescopaje la grúa #1 por segunda vez.

Como queda evidenciado en la misma figura 34, el telescopaje de la grúa #3, no necesita arriostres, ya que puede trabajar en condición de altura máxima auto-estable sin problema, únicamente aumentando la cantidad de cruciformes en la base para incrementar su altura. Adicionalmente no interfiere con ninguna de las otras dos grúas.

La grúa #1 resulta ser la más importante del proyecto, ya que es la primera en ser instalada y la última desmontada. Dando lugar a que sea la más alta del proyecto, con un poco más de 100 metros de altura para trabajar. Para llegar a esta altura fue necesario arriostrear dos veces la grúa al edificio y tener como base una placa de fundación.

Para esta altura fue necesario fundar la grúa, en una placa de fundación de concreto reforzado cuadrada de 6.20 metros, de la cual ya se tenía la ubicación exacta dentro del sitio de construcción en un plano 2D, sin embargo, por un tema de retiro con el edificio, para el momento de desmontar la grúa no tener el riesgo de colisionar con unos volúmenes de fachada de aluminio compuesto, se tuvo que reposicionar dicha placa 2 metros hacia el norte y 1 metros hacia el oeste.

A pesar de tener la ventaja del modelo 3D del edificio y lograr determinar esta restricción del retiro del proyecto con la grúa a tiempo, la

actualización del plano 2D se hizo a tiempo pero la lámina se duplicó, por lo que hubo un mal entendido en la transmisión de la información, obteniendo como consecuencia el reproceso de reubicar la placa de fundación, ver figura 13.

Tener tanta tecnología en un proyecto de construcción puede generar una zona de confort entre los integrantes e involucrados, de la cual se debe tener mucho cuidado.

Resulta importante reconocer que es necesario que todos los miembros del proyecto estén 100% comprometidos e involucrados en todos los procesos constructivos, ya que es muy poco funcional que el departamento BIM esté trabajando por un lado y la ejecución del proyecto por otro.

Es decir, el trabajo en equipo y la buena comunicación resulta fundamental para llevar a cabo un proyecto BIM, hasta la instalación y el manejo de equipos mayores que necesite el proyecto.

Con esta reubicación se pudo observar que se iban a tener ciertas interferencias con tuberías de desfogue pluvial, pero esto no fue problema, ya que se podía rediseñar la trayectoria de estas tuberías.

Una vez fundada la placa de la grúa en su posición actualizada, se instala a una altura auto-estable máxima de 59.40 metros de altura, para comenzar con los trabajos de acarreo de material, descargas, instalación de formaleta, mientras se iba desarrollando las placas corridas de fundación del edificio, cabezales y arranques de las primeras columnas y muros del edificio.

Para la instalación de esta primera grúa se tuvo espacio suficiente para banquear una grúa camión y realizar el montaje con éxito y con muy pocos riesgos colaterales.

Para el primer telescopaje hubo que esperar que la obra estuviera a más o menos 50 metros de altura para poder colocar el primer arriostre de esta grúa. Dando una serie de problemas y atrasos con la continuidad del núcleo principal de trabajo de la grúa.

Por un tema de fechas de entregas se decidió utilizar formaleta trepante mecánica en el ducto de elevadores principal, ver la imagen de la figura 18, donde se muestra en rojo este ducto, con mayor área de trabajo.

Este ducto llevaba construidos de 2 a 3 niveles máximo, más arriba que la losa de entepiso, lo cual causó un impacto en el crecimiento del ducto, ya que por un tema

estructural la grúa no se podía arriostrear al ducto del edificio hasta que estuvieran integrados y colados losas internas, gradas y vigas.

La logística estuvo acertada, porque los tiempos estimados estaban dentro de lo planificado, de hecho los pasantes para los pernos del anclaje para el arriostre quedaron embebidos en el muro de concreto, pero un tema estructural el avance estuvo interrumpido.

Una vez con el ducto integrado de manera correcta con el edificio, el tema del telescopaje se llevó a cabo sin problema alguno, porque ya se iba a lograr soportar la carga dinámica que presenta la grúa durante su vida útil.

De los inconvenientes presentes, el viento hizo que se tuviera que detener el telescopaje de la grúa, por lo que se extremaron medidas de precaución para poder continuar con el proceso.

La logística del Departamento de equipos está bien definida ya que se trasladan los cuerpos con uno o dos días de antelación y el proceso como tal es lento e implica riesgos, pero con todas las medidas del caso se torna exitoso.

Para llevar a cabo el telescopaje de esta grúa se tomó una semana previa al acto como tal, para corroborar la planificación y logística. Es decir, un día para tomar medidas de arriostres, dos días montando anclajes y dos días en el proceso del telescopaje. Y así fue para los dos telescopajes que se tuvieron que realizar en para llegar a la altura deseada de la grúa #1.

La obra gris del edificio se podía finiquitar sin necesidad de realizar el segundo telescopaje, sin embargo, al tener la altura para anclar, se llevó a cabo el segundo arriostre, con el fin de tener una altura mayor a 20 metros para poder manipular de mejor manera toda la estructura metálica que sostiene la cubierta de techo.

Del mismo modo funcionó para poder desmontar la formaleta trepante interna del ducto sin ningún problema. Ver figura 14.

Por otra parte se tiene la grúa #2, la cual fue la más compleja de encontrar la posición ideal de instalación, ya que se contaba con un espacio muy reducido y adicional a esto la cercanía a cable de alta y media tensión. Ver figura 19.

Se logró cumplir con el retiro deseado con el edificio de 2,5 metros, sin embargo se logró determinar en conjunto con el Departamento BIM, que aun así en el nivel 9 había un detalle de fachada de aluminio

compuesto, que estaba atravesado con el paso de los cuerpos de la grúa.

Al encontrar esta restricción a tiempo se hizo la solicitud de un rediseño, en este nivel, de la fachada, para que no se viera afectado el crecimiento de la grúa ni el avance del edificio.

Sin la intervención BIM, no se hubiera detectado con antelación esta interferencia, por lo que el rediseño de esta fachada no se hubiera solicitado con tiempo sino hasta que el edificio estuviera cerca de llegar a este punto.

Esta grúa fue la segunda con más altura, por lo que requirió al igual que la grúa #1, una placa de fundación con las mismas dimensiones. Esta placa tuvo la restricción principal que se salía de la línea de propiedad.

Como se puede observar en la figura 24, la línea de propiedad es la línea roja discontinua y el cuadro azul la placa de fundación de concreto reforzado, sin embargo no coincide con los niveles de propiedad ni tampoco es considerable lo que invade.

Con el levantamiento de sitio previo a la instalación de la grúa #2, se pudo observar que se tenían líneas de alta y media tensión bastante próximas a los cuerpos de la grúa.

Fue hasta cuando en conjunto con el Departamento BIM se modeló esta grúa #2, que se pudo observar que se tenía una cercanía considerable y no se cumplía con la recomendación de CNFL, que solicitan 3 metros o más.

Al tener 2,7 metros de distancia entre la alta tensión y los cuerpos de grúa se hizo la solicitud por recomendación del contratista electromecánico quitar la corriente eléctrica en esta zona en específico.

Igual que con la grúa #1, se tuvo que hacer la solicitud de la elaboración del diseño de dos arriostres de anclaje al edificio para poder llegar a la altura de trabajo deseada.

La diferencia, es que en esta zona del edificio no se tenía un muro de concreto reforzado sino columnas y vigas de concreto reforzado, por lo que también hubo intervención del diseñador estructural, con un refuerzo adicional en la viga donde se iba a colocar este arriostre, para que soportara las cargas dinámicas de la grúa.

Con el segundo telescopaje se analizó que si se hacía completo, se iban a traslapar las plumas de la grúa #1 con la grúa #2, como consecuencia se tomó la decisión de telescopar

la mitad de los cuerpos para mientras se lograba alcanzar la altura de los muros para colocar el segundo arriostre de la grúa #1.

Es importante mencionar que en el momento de colocar estos arriostres de la grúa #2, se iba a interrumpir la instalación de los vidrios de la fachada, los cuales se iban a postergar en la colocación del mismo en esta zona. Una virtud más de contar con el modelo y la información clara, ya que se puede negociar con el contratista varios acuerdos.

Dentro de la planeación del manejo de equipos mayores, se encuentra la negociación con contratistas, principalmente para que no haya atrasos o materiales sin instalar, ociosos que se puedan dañar o extraviar.

Para el telescopaje de una grúa, interviene el desarrollo normal en la zona próxima al radio de la pluma aproximadamente, en áreas desprotegidas totalmente, principalmente por el riesgo inminente que se tiene.

Con la grúa #3 se tiene la diferencia que al no superar los 55 metros de altura, la fundación es distinta, no resulta necesario hacer placa de fundación sino que basta con cruciformes, los cuales se colocan en la base de la grúa directamente.

Por esta razón, se facilitó encontrar la posición idónea, eso sí, requirió de la pluma más larga (50 metros) de las grúas, para poder alejar sin problema la grúa del edificio, sin embargo si hubo un problema con la altura deseada.

Para el telescopaje de esta grúa no fue necesario solicitar diseño de arriostres, ya que la condición es de altura máxima auto-estable pero, sí fue necesario elaborar más cruciformes en sitio para poder realizar la instalación de los cuerpos adicionales necesarios para la altura de trabajo.

La única posible restricción para esta grúa, fue la cercanía a las oficinas provisionales de ingeniería, lo cual generaba un posible riesgo en el momento de instalación, crecimiento y desmontaje, pero interrupciones con el desarrollo del edificio únicamente con la altura final deseada.

El edificio en esta zona llegaba a una altura de 43,7 metros, sin embargo, el ducto de escaleras ubicado en esta parte subía cerca de 3 metros, lo cual dejaba la altura bajo gancho de la grúa a más o menos 2 metros con incertidumbre de 1,5 metros, por lo cual hubo que adelantar el desmontaje de esta grúa para poder finiquitar con este ducto.

Colocador de Concreto

Para el colocador de concreto, conocido como pluma distribuidora de concreto, cumple un muy buen papel mientras está en uso, sin embargo cuando no está en operación, no es para nada práctico.

En primera instancia resulta muy importante contar con la acometida eléctrica lo más cerca posible donde se vaya a operar el equipo, lo cual resulta un tema algo delicado y costoso. Porque el colocador de concreto requiere de un toma corrientes especial y único, que se debe andar trasladando conforme vaya creciendo con el edificio.

Este proceso, de hacer llegar la energía eléctrica al lugar de operación del equipo se va complicando, una vez se desarrolla el crecimiento de la obra.

Es necesario contar con suficiente metraje de cable eléctrico desde un inicio, ya que no se recomienda hacer empalmes porque puede generar pérdidas de voltaje y como consecuencia posibles daños o falencias en la operación del equipo.

Otra fuente importante, en la cual interviene la planificación en conjunto con el Departamento BIM, y es necesaria para poder operar el equipo, es hacer llegar el concreto a los niveles superiores donde se vayan a colar los elementos. Que al igual que la electricidad, se va tornando complicado conforme se va haciendo más grande y alto el edificio.

La tubería de concreto es el elemento para hacer llegar el concreto hasta el colocador de concreto, necesita de un equipo adicional al inicio de la misma, para bombear el concreto a través de esta tubería, tanto vertical como horizontalmente dentro del área de trabajo. Este equipo es una bomba estacionaria que facilitó la suplidora de concreto, del mismo modo que toda la tubería.

Se tuvo que planificar con el Departamento BIM, la ubicación ideal para subir esta tubería y lograr llegar el concreto a los niveles superiores.

Se decidió subir dentro del ducto mecánico, ubicado en el centro del edificio en el costado oeste, ejes 6 y 7, justo a la par del ducto de escalera de emergencia #2, porque se demostró que era donde menos interferencias se iba a tener y llega a la altura total del edificio.

La principal restricción, durante la operación, encontrada fue el desplazamiento elástico de la pluma del colocador de concreto, como resultado de la fuerza de inercia que se genera, ya sea que se retraiga, se estire o inclusive se gire.

Resultó importante establecer una distancia mínima de al menos 0,6 metros de distancia radial de cualquier obstáculo en las posiciones propuestas.

Cabe resaltar que en este proyecto se logró utilizar el colocador de concreto para colar no solamente elementos verticales, sino también losas de entrepiso y rampas.

En el cuadro 1 se muestran, las restricciones encontradas y adicionalmente se estableció un manejo adecuado para su debido uso. Aunque todas muy importantes, se considera que el tema de espacio es de las restricciones a considerar.

Al ser un equipo que depende 100% de movimientos de grúa, es necesario valorar la factibilidad de uso respecto al rendimiento que se le quiera sacar.

Elevadores de carga.

TUN al ser un proyecto que se aproxima a los 100 metros de altura y tener una huella grande, requirió el uso de 3 elevadores de carga.

En el primer diseño de sitio se tenía dos elevadores que se iban a utilizar del B2 (Sótano 2) al nivel 14 y un elevador que subiera del nivel 15 al nivel 22. Sin embargo esto cambió, y este tercer elevador se reposicionó ya que era probable que tuviera interferencia con una fachada liviana donde se iban a tener las paradas.

Tomando esta decisión en conjunto, el equipo de ingeniería y BIM, se iban a utilizar únicamente dos elevadores, pero sobre la marcha se tomó la opción de utilizar los 3 elevadores en la misma trayectoria todos.

Esta decisión se fundamenta principalmente, en que se tenía mucho personal en ese momento, entre colaboradores de Bilco y contratistas, por lo que se generaba tiempos muertos considerables en horas de desayuno y almuerzo.

Como se puede observar en la figura 30, uno de los elevadores prácticamente se utilizaba en forma directa, mientras que los otros 2 eran colectivos, es decir se establecían paradas en

distintos niveles para tener accesos en los inferiores.

La torre de cuerpos modulares se debe arriostrear a cada 9 metros de altura, con un soporte como el que se muestra en la figura 31. Estos cuerpos y arriostres se pueden transportar en el elevador cuando se requiera ganar crecimiento, es decir no es necesario una grúa externa para poder hacer efectiva la altura deseada. Mientras que con la instalación de la cabina sobra la placa de fundación de concreto reforzado, se requiere de una grúa torre o bien una grúa camión.

Los elevadores de carga fueron fundados sobre placas de concreto reforzado, apernando la base del mismo a esta placa para generar la estabilidad necesaria para operar este equipo.

Esta placa se construyó justo a la par de la fachada sur del edificio, de manera que se respetara los 2,5 metros de separación. En conjunto con el departamento BIM se generó un plano con un nivel de detalle alto, ya que se puede observar hasta el acero de la placa, ver figura 32.

Con los elevadores de carga al igual que con las grúas, se puede incluir de alguna manera el 4D para realizar las planificaciones de telescopajes, mediante diagramas de fases, como se puede apreciar en la figura 33, con los cuales se queda más claro la secuencia necesaria para cumplir metas y fechas, tanto con el edificio como con el crecimiento del equipo.

Realmente de las restricciones encontradas para este equipo, se puede decir que el tema de espacio y hacer llegar la energía resultan las más importantes a considerar.

Con el espacio es importante tener en cuenta que no se vea interrumpido el acabado de la fachada del edificio, y sobre todo el tema de la seguridad tanto al acceso como a la salida en las distintas paradas del elevador.

En cuanto la alimentación eléctrica se puede decir que, es necesario contar con el centro de carga de cada elevador justo a la par, ya que el equipo no puede tener pérdidas de voltaje para su buen funcionamiento.

El equipo requiere de bastante mantenimiento preventivo, de al menos 2 veces al mes o bien cada vez que el operador, a su experiencia, sienta que algo no anda bien.

Otras herramientas BIM para el apoyo de la planificación en la instalación y manejo de equipos mayores en un proyecto de construcción.

Si bien es cierto, la tecnología BIM es todo un mundo de conocimiento, y no solo se basa en una plataforma manipulable para generar detalles en tres dimensiones o elaborar planos, va más allá de esto, sin embargo para este proyecto de graduación se estudiaron plataformas que pueden complementar el desarrollo del BIM, principalmente que ayuden en la planificación y manejo de equipos mayores en un proyecto de construcción.

Revit como herramienta, es una de las plataformas más utilizadas en el gremio de la ingeniería en proyectos de construcción para modelar. Es la herramienta con la que se cuenta en la empresa constructora Bilco Costa Rica S.A. para la ejecución del BIM en sus proyectos, tanto en construcción como en pre-construcción.

Al ser uno de los softwares con más ventajas de manipulación y con una fácil interfaz de uso, tiende a suavizar la curva de aprendizaje, sin dejar de lado que está muy bien diseñada, según los autores del BIM HandBook. Revit se convierte en la herramienta más buscada para el desarrollo de trabajos BIM.

Sin embargo hay sin número de plataformas en el ámbito, por ejemplo ArchiCAD, Bentley Systems, Tekla Structures, entre otros. Para efectos de este documento, se comparan estas 3 plataformas con Revit.

Analizando las cuatro plataformas se puede observar en el cuadro 2, las ventajas encontradas de cada una de las herramientas. Que si bien se demuestra en el cuadro 2, gran cantidad de ventajas, únicamente Revit tiene la facilidad de aprendizaje por su amigable diseño y compatibilidad con interfaces de enlace directo con otras herramientas BIM.

En TUN Fase 1, se utilizó como herramienta de enlace directo Revizto, el cual obtuvo muy buenos resultados, ya que en campo se podía contar con el modelo 3D, sin embargo tenía desventajas considerables, como la necesidad de estar dentro del área de la red de internet o bien se requiere cargar el modelo del

proyecto todos los días para poder contar con la información actualizada.

Revit contiene gran cantidad de bibliotecas de objetos y tiene la libertad de utilizar, mediante programación, la elaboración de familias paramétricas. Tiene la versatilidad de hacer actualizaciones y gestión de información tanto en 2D como en el modelo en tiempo real.

El programa ArchiCAD, se puede decir que es el que más se asemeja a Revit, en cuanto al uso como tal del programa, a la sencillez de utilizar y modelar un proyecto de construcción. Por lo que sería factible para el uso de la planificación y el manejo de equipos mayores también. Cuenta con un amplio conjunto de aplicaciones de soporte de diseño, construcción y gestión de instalaciones.

Sin embargo, ArchiCAD presenta la desventaja que tiene limitaciones en el momento de personalizar objetos, porque no permite expresiones algebraicas ni condicionales.

Conclusiones

- Para la planificación de la logística del sitio de construcción, del proyecto Torre Universal Fase I, en cuanto a la instalación y el manejo de equipos mayores como las grúas torre, los elevadores de carga y el colocador de concreto, se realizaron una serie de actividades como entrevistas, visitas programadas a campo, captura de momentos durante algún proceso específico como desmontaje de grúa, colocación del anillo para telescopaje, mediante fotos y videos, para poder cumplir cada objetivo establecido, con el fin de obtener la propuesta de planificación más certera de cada uno de los equipos mayores en cuestión.
- De los equipos mayores estudiados se logró encontrar distintas restricciones, de las más relevantes interferencias con el edificio a construir, espacios reducidos, cableado de alta tensión a distancia menor que lo recomendado por norma, capacidades soportantes de suelo inferiores a lo necesitado por diseño de placa, entre otras según cada equipo mayor y la metodología implementada. Cada una de las tres grúas fueron distintas, la planificación de cada una se manejó independiente y generó gran cantidad de trabajo en el equipo para solucionar circunstancias de campo e imprevistos, por ejemplo la falta de crecimiento del ducto principal de elevadores para poder telescopar la grúa torre 1.
- Los puntos de mayor importancia para la elección de una grúa son: el tamaño del edificio tanto vertical como horizontal, los diferentes frentes de trabajo y sobre todo los tiempos de entrega que actualmente los clientes están solicitando, por más trabajo y complejidad en el mismo tiempo-costo. Es decir la productividad de movimientos de grúa es necesaria para cumplir con esta elección.
- Sin duda alguna el colocador de concreto juega un papel fundamental en la construcción, por lo que se debe analizar su operación en el proyecto, ya que su uso se ve restringido por el tamaño que tiene, hacer llegar la energía eléctrica y el suministro de concreto. Para realizar la planificación del manejo de este equipo en conjunto con el Departamento BIM, se basó en modelar el colocador de concreto con familias paramétricas para buscar las ubicaciones ideales, con el fin de que su operación sea factible tanto para colar elementos verticales como elementos horizontales.
- La cantidad de elevadores de carga va en función de la cantidad de personal, siendo casi directamente proporcional. En TUN se usaron tres elevadores de carga para un promedio de 750 colaboradores en su punto máximo de ejecución de proyecto.
- Revit se mantiene como la herramienta universal para el modelado de la información de construcción según los autores del BIM HandBook, porque tiene una curva suave en el tiempo de aprendizaje, por lo que sin duda alguna se puede asegurar que aún no hay plataforma que sea lo suficientemente completa como para probar su uso en edificios o proyectos que cuentan una complejidad considerable.
- Para el manejo y la planificación de sitio para la instalación de equipos mayores ArchiCAD se puede usar como plataforma, pero como no es compatible directamente con Revit no sería factible usar dos plataformas en un mismo proyecto.
- El uso del BIM resulta beneficioso durante procesos de planificación para el manejo e instalación de equipos mayores, siempre y cuando se haya involucrado la gran mayoría de participantes responsables, desde

maestros de obra, encargados e ingenieros tanto residentes como modeladores. Siempre resulta valiosa la retroalimentación de todos los responsables de obra.

- La empresa constructora Bilco Costa Rica lleva mucho tiempo trabajando con Revit como plataforma de modelado de la información, por lo que cuenta con gran cantidad de familias paramétricas, lo cual tiene un valor agregado para el uso de esta plataforma. Lo que deja de lado la posibilidad de utilizar otra plataforma, pero sí de utilizar extensiones BIM para complemento de la plataforma.

Recomendaciones

- Se recomienda al equipo de trabajo de ingeniería, que aunque se tenga la última tecnología en un proyecto, siempre hacer revisiones en campo, y dar seguimiento a las últimas actualizaciones, tratando de que láminas con detalles constructivos o planos para construcción obsoletos no estén vigentes ni al alcance de todos o bien cerciorarse que no hay duplicación de la información.
- Al Departamento BIM de proyecto se le recomiendo establecer y siempre buscar mejoras al canal de comunicación BIM – Campo de ejecución. Es de suma importancia la retroalimentación para poder ejecutar de la mejor manera un proyecto, y no caer en reprocesos innecesarios.
- Se recomienda al Departamento de equipos que para telescopajes de grúas, que necesiten hacer arriostres a la estructura del edificio, contar con al menos 2 días más adicionales a la semana que se tiene planificada. Para corroborar temas de longitudes de arriostres, anillo de la grúa y cualquier otro imprevisto.
- Se recomienda al equipo de ingeniería siempre trabajar en conjunto para evitar mal entendidos en todos los procesos de construcción, manejo e instalación de equipos mayores.
- Se recomienda a la compañía constructora Bilco Costa Rica S.A. investigar más, acerca de las plataformas BIM, para poder complementar y probar en proyectos próximos de la empresa. Alguna manera fácil de uso sobre todo en campo y que tenga una curva suave de aprendizaje.

Apéndices

En esta sección se adjuntan todas las imágenes adicionales tomadas para la aclaración y un mejor entendimiento de las actividades como lo son los telescopajes, instalaciones y usos de los diferentes equipos mayores que se utilizaron en este documento.

Del mismo modo se incluyen imágenes para ilustrar el buen funcionamiento de los equipos mayores en cuestión, es decir colado de elementos verticales mediante grúa torre y balde, colado de elementos con el colocador de concreto, los elevadores de carga.



Apéndice A. Movimiento con grúa torre y colado de elementos verticales con grúa.
Fuente: elaboración propia.



Apéndice B. Colado de elementos verticales con balde y grúa torre.
Fuente: Elaboración propia



Apéndice C. Ubicación del colocador de concreto para colar elementos verticales.
Fuente: elaboración propia.



Apéndice D. Colado de elementos verticales con colocador de concreto.
Fuente: elaboración propia.



Apéndice E. Colado de elementos horizontales con colocador de concreto y movimientos de formaleta vertical con grúa torre.
Fuente: elaboración propia.



Apéndice F. Movimientos de grúa torre.
Fuente: elaboración propia.



Apéndice G. Movimientos ducto principal de elevadores.
Fuente: elaboración propia.



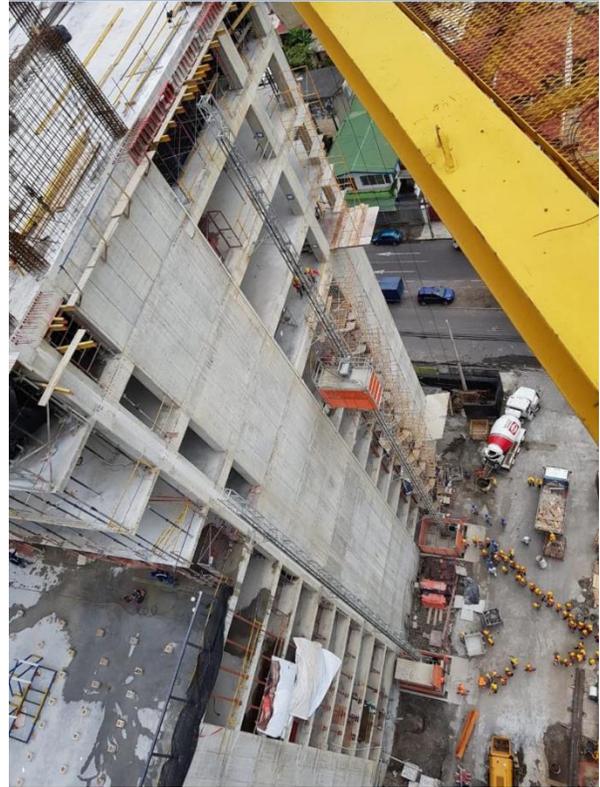
Apéndice H. Ducto principal de elevadores.
Fuente: elaboración propia.



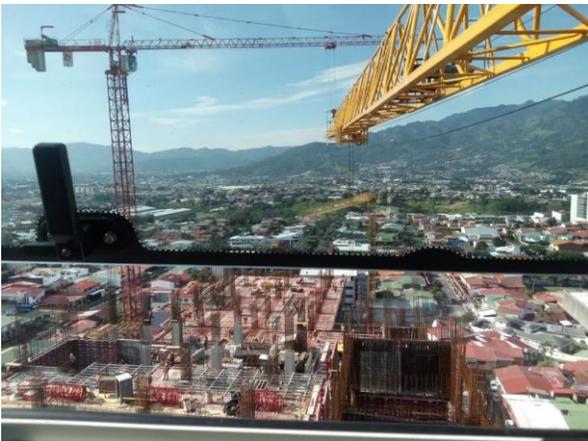
Apéndice I. Colado de ducto principal de elevadores con balde y grúa torre.
Fuente: elaboración propia.



Apéndice J. Colocador de concreto ubicado para colar elementos verticales.
Fuente: elaboración propia.



Apéndice L. Elevadores de carga en funcionamiento.
Fuente: elaboración propia.



Apéndice K. Grúas torre.
Fuente: elaboración propia.



Apéndice M. Placa de fundación grúa torre 1
Fuente: elaboración propia



Apéndice N. Reproceso para reubicar la placa de fundación grúa torre 1
Fuente: elaboración propia

Anexos

En este capítulo se incluyen los materiales complementarios a la investigación, necesarios para dejar más claro algunos de los procedimientos realizados, en las visitas a campo.

Como primeros anexos se tienen las tablas de restricciones y condiciones de sitio para la instalación de equipos mayores, en segunda instancia diagramas de los equipos mayores en cuestión y por último un cuestionario digital, realizado para tener puntos de vista de involucrados en los procesos de planificación, instalación y manejo de equipos mayores en un el proyecto TUN Fase 1.

LINEA	Características del equipo	Observaciones importantes (distancias en metros)
1	Dimensión de los cuerpos	2x2 metros
2	Dimensión de la pluma	50 metros
3	Tipo de fundación	Circular
4	Altura auto - estable	32,15 metros, máx : 52 metros
5	Peso total del equipo mayor	
6	Otros:	
Consideraciones, restricciones de espacio		Observaciones importante
11	Estructuras colindantes existentes	Oficinas provisionales
12	Alumbrado público	provisional NA
13	Tendido eléctrico (líneas primarias, secundarias, terciarias)	provisional
14	Calles, carreteras, caminos, autopistas, servidumbres.	Camino provisional
15	Espacio libre para banquiar otras grúas	Si
16	Condiciones meteorológicas	Verano
17	Tipología de suelo	asfalto
18	Otros:	sobre asfalto se hace 4 hechas de concreto

Dibujos a mano alzada, bosquejos, esquemas.

Anexo 1 Restricciones y condiciones de sitio para grúa #3.
Fuente: elaboración propia.

LINEA	Características del equipo	Observaciones importantes (distancias en metros)
1	Dimensión de los cuerpos	h=3,5m y 2x2 metros
2	Dimensión de la pluma	55 metros
3	Tipo de fundación	Placa fundación concreto refor
4	Altura auto - estable	59,40 metros.
5	Peso total del equipo mayor	
6	Otros:	
Consideraciones, restricciones de espacio		Observaciones importante
11	Estructuras colindantes existentes	Vecinos al oeste
12	Alumbrado público	Si, al norte
13	Tendido eléctrico (líneas primarias, secundarias, terciarias)	Si, al norte.
14	Calles, carreteras, caminos, autopistas, servidumbres.	Autopista Al Norte, carrete
15	Espacio libre para banquiar otras grúas	Si
16	Condiciones meteorológicas	Verano
17	Tipología de suelo	Arcillas
18	Otros:	

Dibujos a mano alzada, bosquejos, esquemas.

Anexo 2 Restricciones y condiciones de sitio para grúa #1.
Fuente: elaboración propia

Equipo mayor a instalar: Elevador de carga Fecha de la visita: 11/NOV/19 v.01

Código del equipo mayor: _____

Proyecto: TUN

Realizado por: Leonardo Pérez

BILCO

LINEA	Características del equipo	Observaciones importantes (distancias en metros)
1	Dimensión de los cuerpos	75 cm x 75 cm
2	Dimensión de la pluma	N.A.
3	Tipo de fundación	Placa de fundación
4	Altura auto-estable	N.A.
5	Peso total del equipo mayor	—
6	Otros:	—
	Consideraciones, restricciones de espacio	Observaciones importante
11	Estructuras colindantes existentes	Edificio en construcc
12	Alumbrado público	—
13	Tendido eléctrico (líneas primarias, secundarias, terciarias)	—
14	Calles, carreteras, caminos, autopistas, servidumbres.	—
15	Espacio libre para banear otras grúas	Sí
16	Condiciones meteorológicas	Verano
17	Tipología de suelo	relleno
18	Otros:	—

Dibujos a mano alzada, bosquejos, esquemas.

Anexo 3 Restricciones y condiciones de sitio para elevador de carga.

Fuente: elaboración propia.

Equipo mayor a instalar: Grúa #2 torre Fecha de la visita: 24/ENE/19 v.01

Código del equipo mayor: Polim MC-205

Proyecto: TUN FASE I

Realizado por: Leonardo Pérez

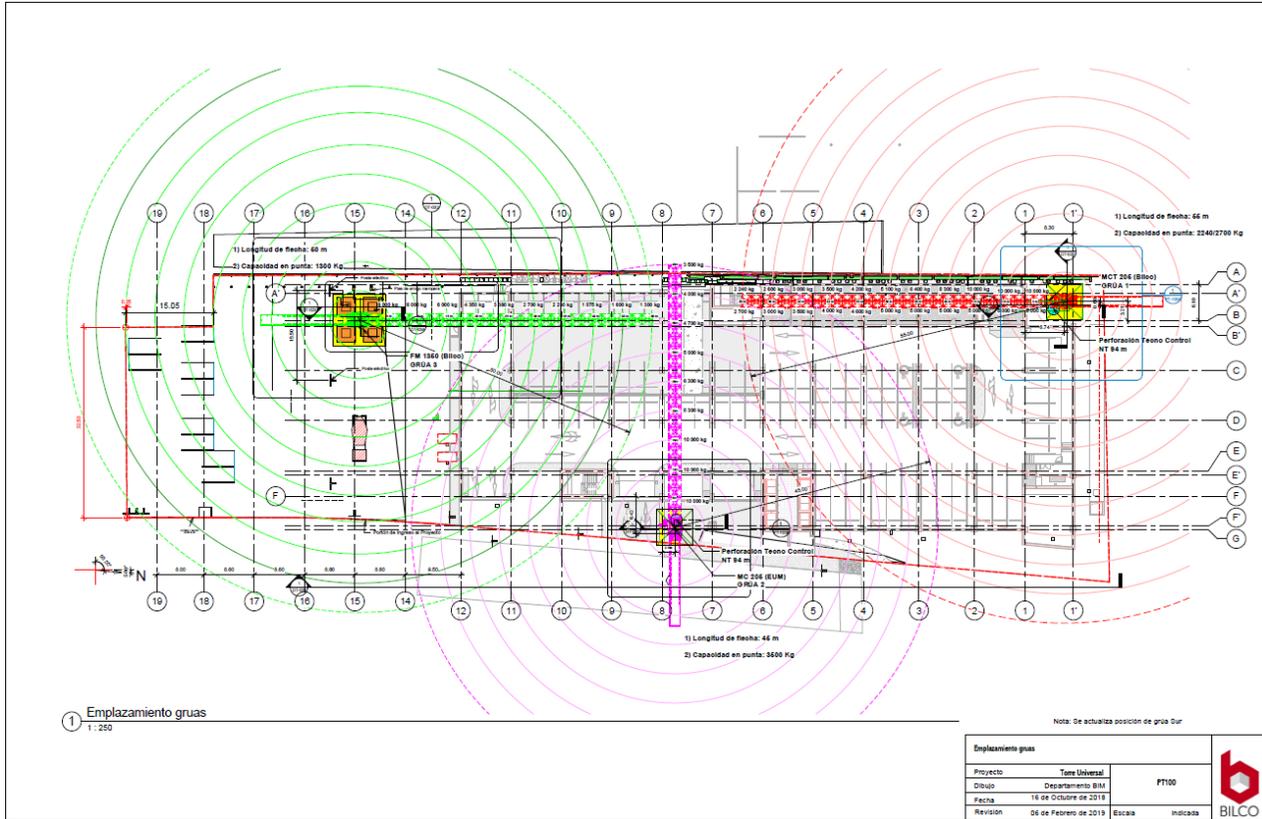
BILCO

LINEA	Características del equipo	Observaciones importantes (distancias en metros)
1	Dimensión de los cuerpos	h = 3,5m y 2x2 metros
2	Dimensión de la pluma	45 metros
3	Tipo de fundación	Placa fundación concreto reforzado
4	Altura auto-estable	48 metros
5	Peso total del equipo mayor	—
6	Otros:	—
	Consideraciones, restricciones de espacio	Observaciones importante
11	Estructuras colindantes existentes	—
12	Alumbrado público	Sí al Este
13	Tendido eléctrico (líneas primarias, secundarias, terciarias)	Sí al Este
14	Calles, carreteras, caminos, autopistas, servidumbres.	Sí carretera
15	Espacio libre para banear otras grúas	Sí al este.
16	Condiciones meteorológicas	Verano
17	Tipología de suelo	Arcilloso, relleno
18	Otros:	—

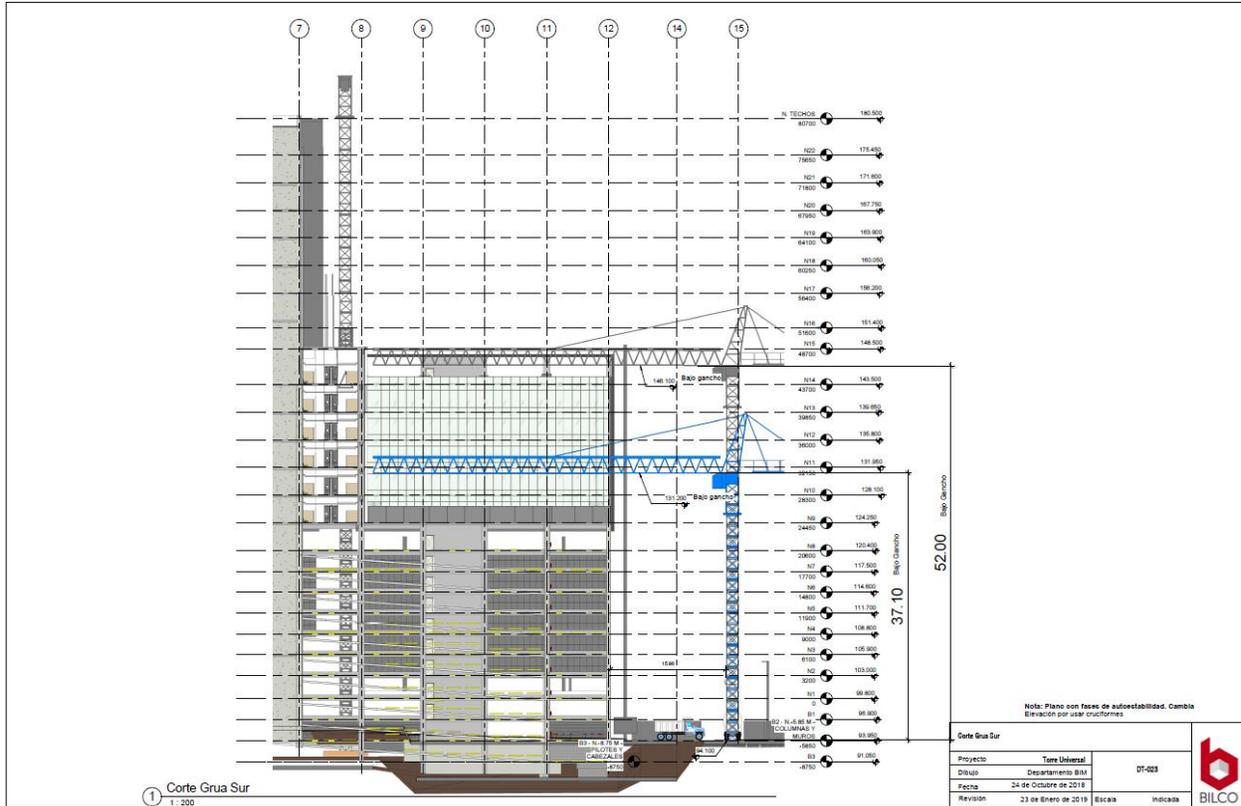
Dibujos a mano alzada, bosquejos, esquemas.

Anexo 4 Restricciones y condiciones de sitio para grúa #2.

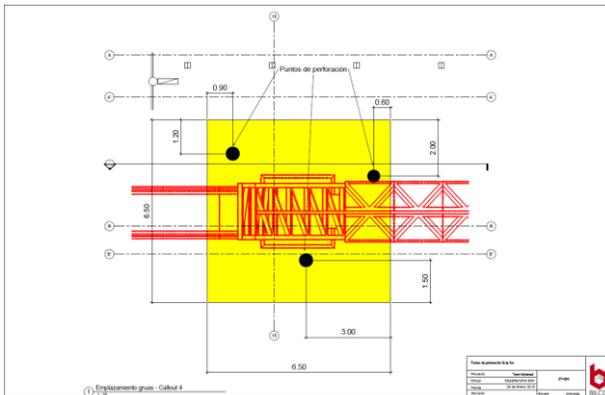
Fuente: elaboración propia.



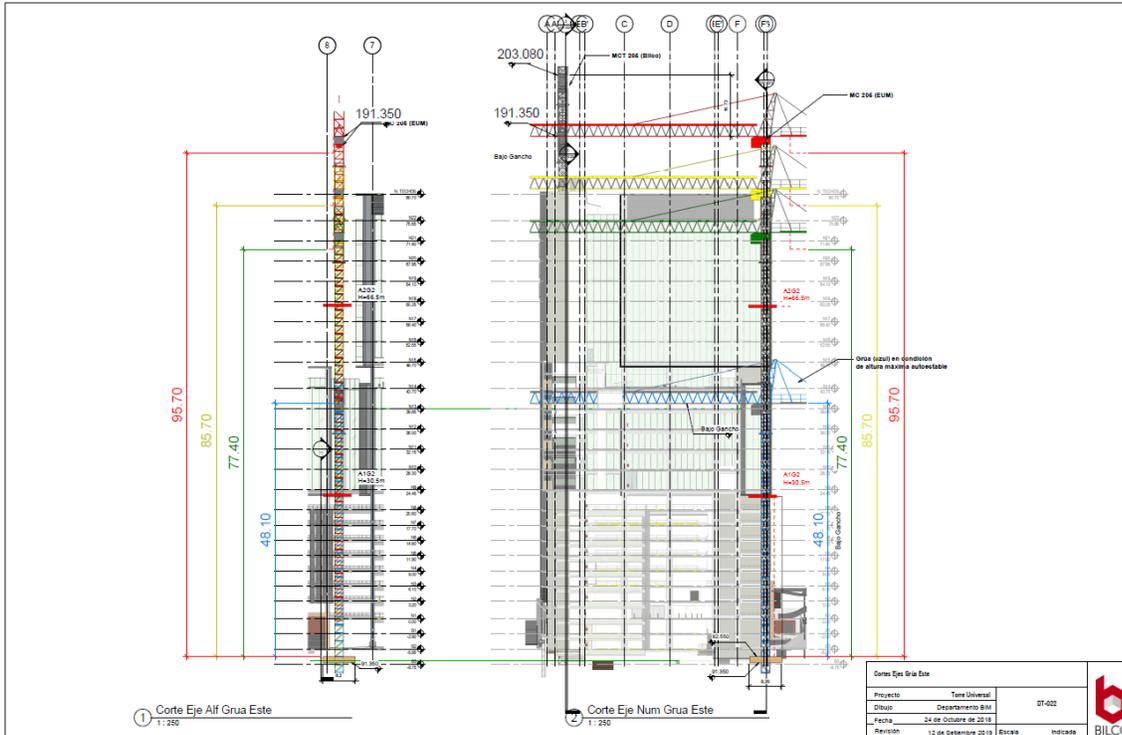
Anexo 5. Emplazamiento final de grúas torre.
Fuente: Departamento BIM, Bilco Costa Rica, 2020.



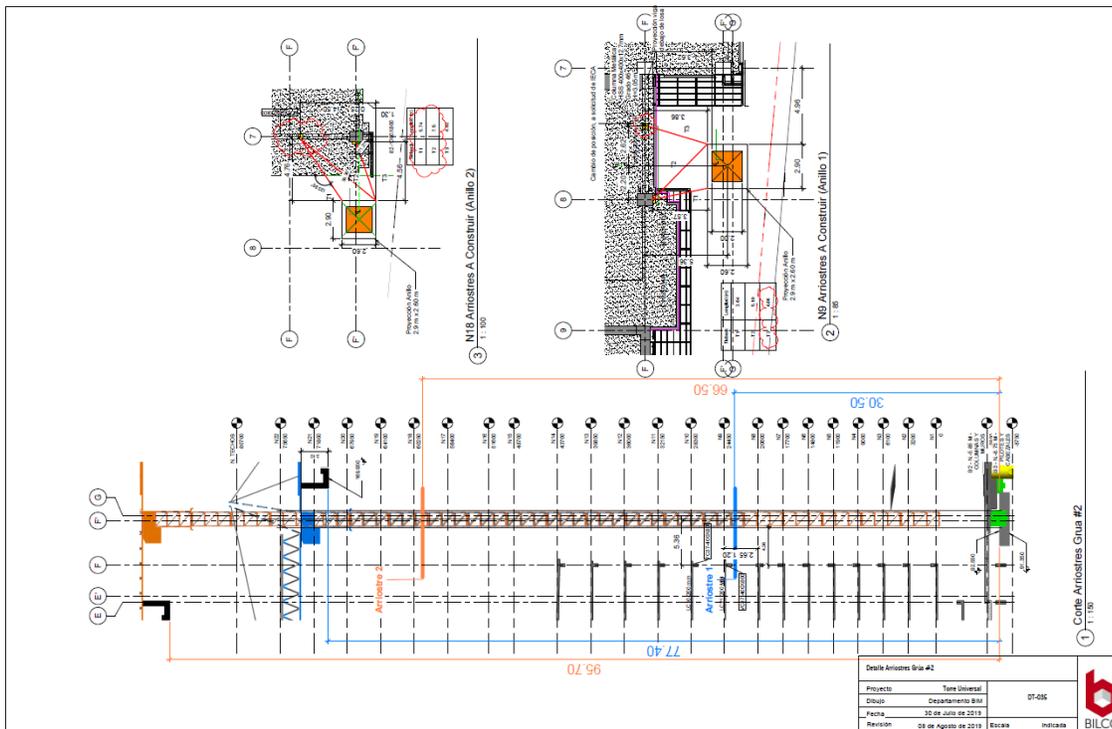
Anexo 6. Diagrama de fases grúa torre #3.
Fuente: Departamento BIM, Bilco Costa Rica, 2020.



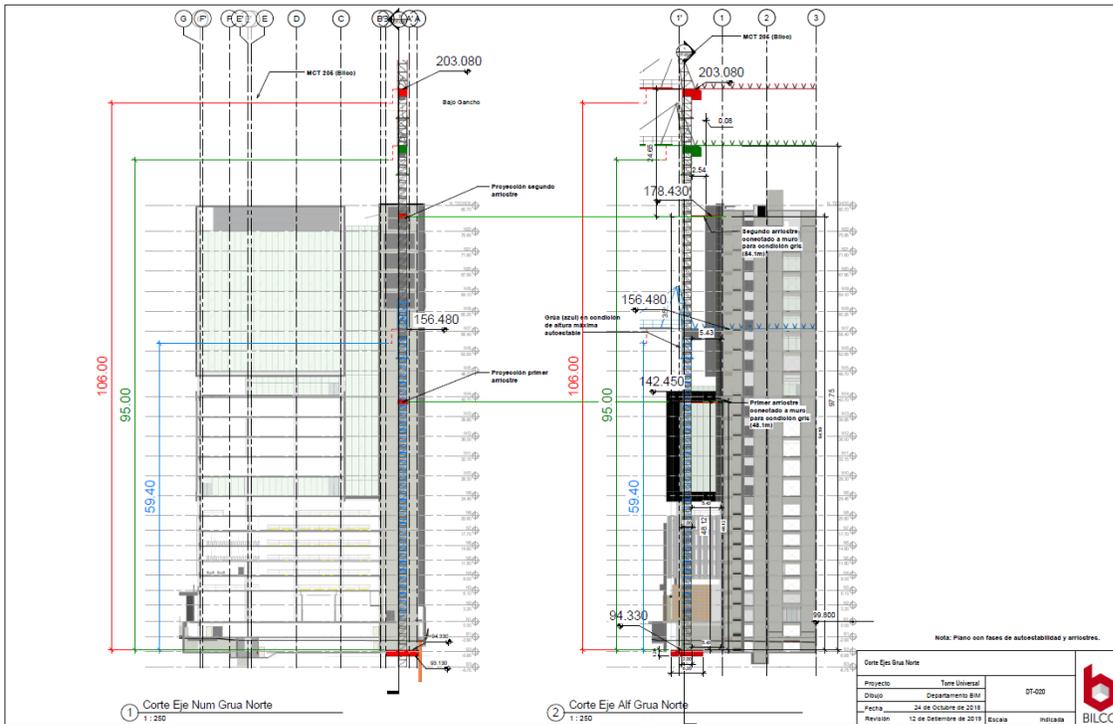
Anexo 7. Puntos para pruebas de capacidad soportante para grúa #3.
Fuente: Departamento BIM, Bilco Costa Rica, 2020.



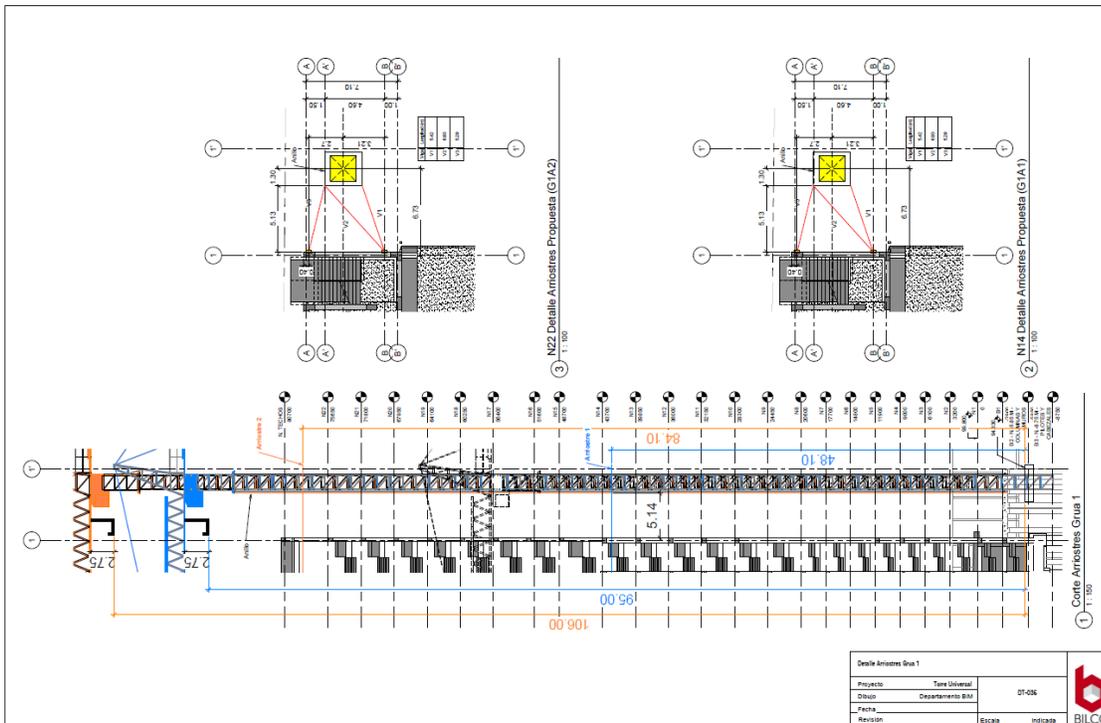
Anexo 8. Diagrama de fases grúa torre #2.
Fuente: Departamento BIM, Bilco Costa Rica, 2020.



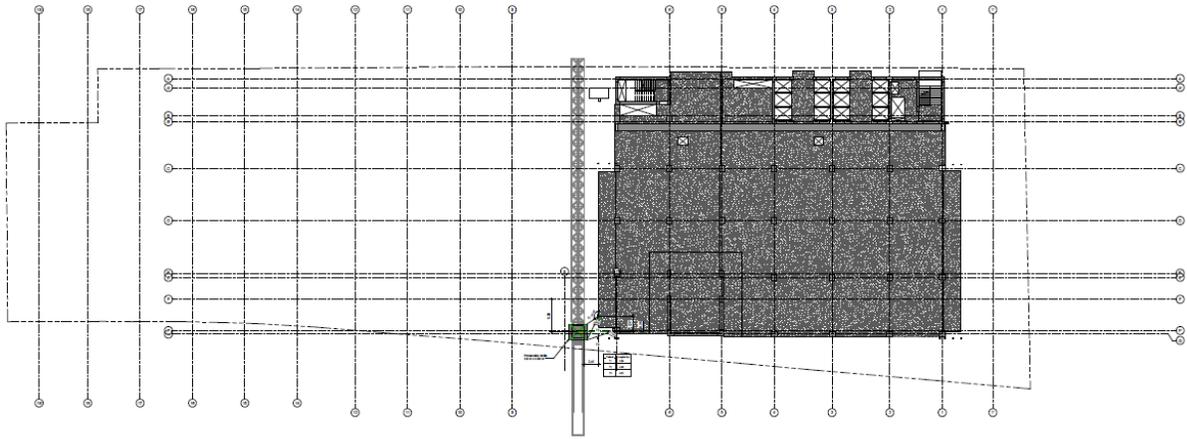
Anexo 9. Arriostres para grúa torre #2.
Fuente: Departamento BIM, Bilco Costa Rica, 2020.



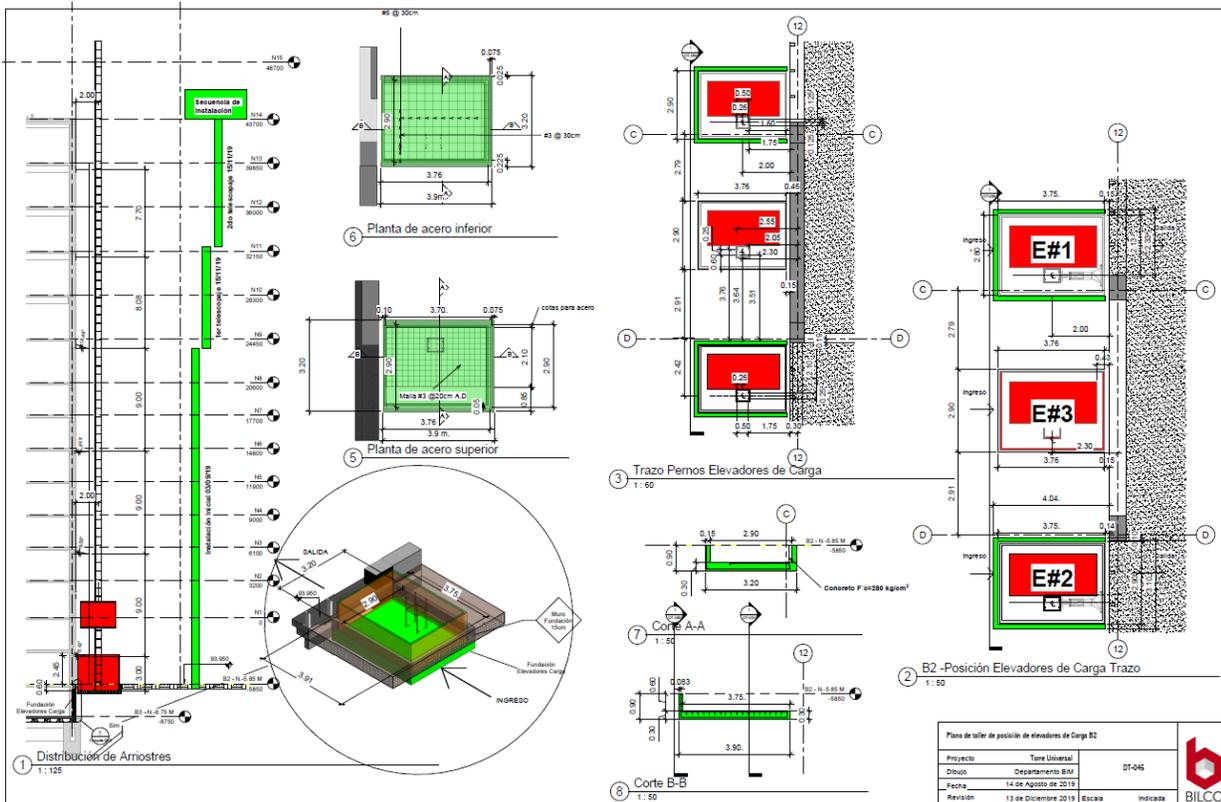
Anexo 10. Diagrama de fases grúa torre #1.
Fuente: Departamento BIM, Bilco Costa Rica, 2020.



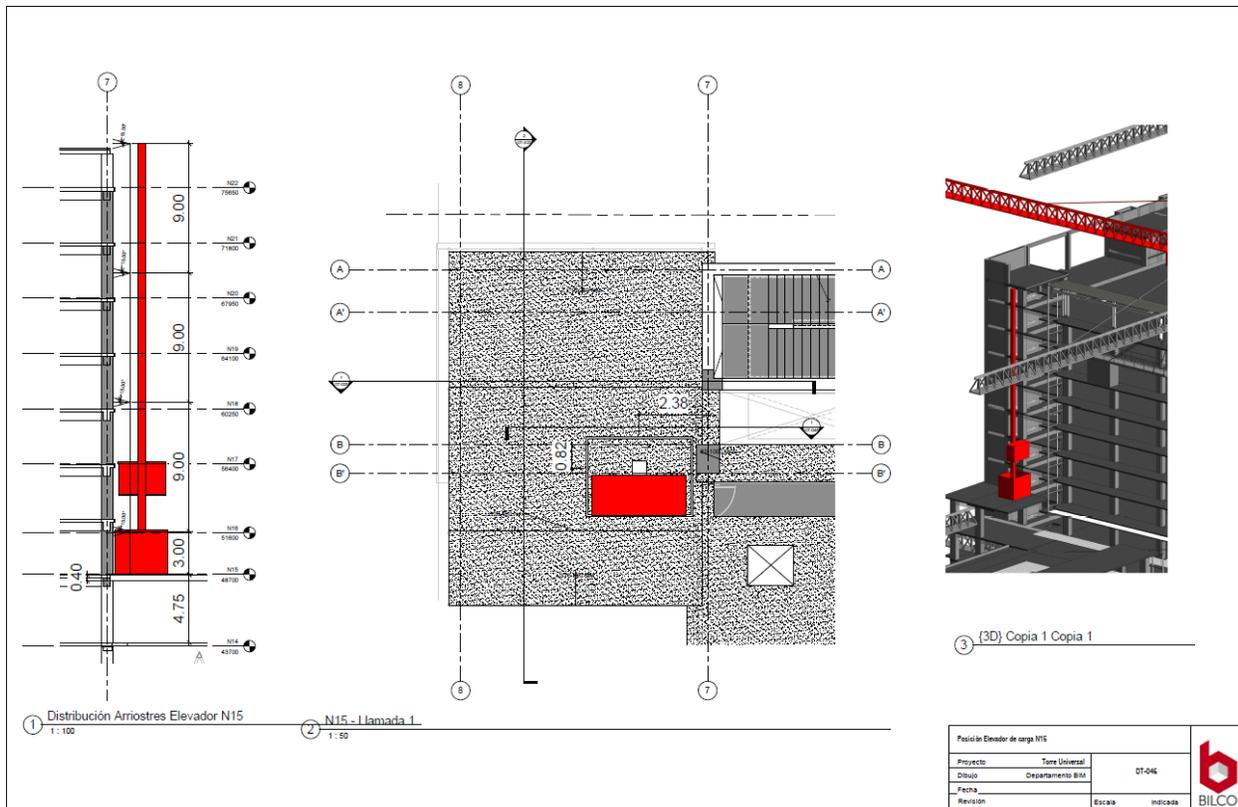
Anexo 11. Arriostres para grúa torre #1.
Fuente: Departamento BIM, Bilco Costa Rica, 2020.



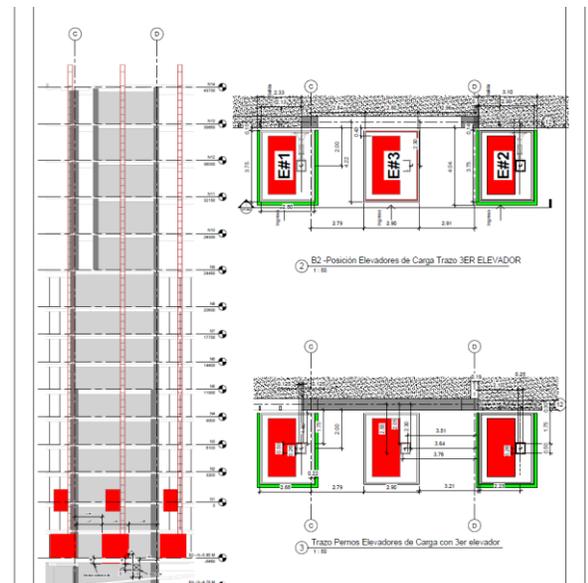
Anexo 12. Reducción de huella del edificio.
Fuente: Departamento BIM, Bilco Costa Rica, 2020.



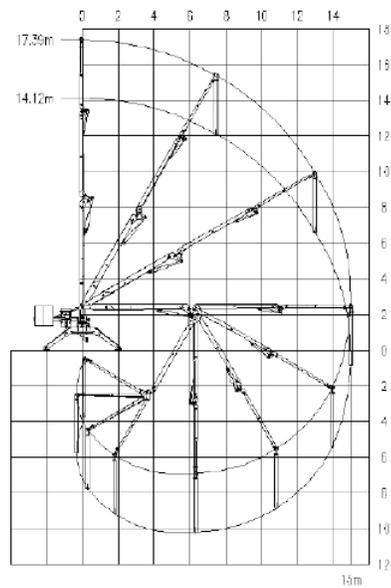
Anexo 13. Diagrama de fases de elevadores de carga y posición de elevadores detallada.
Fuente: Departamento BIM, Bilco Costa Rica, 2020.



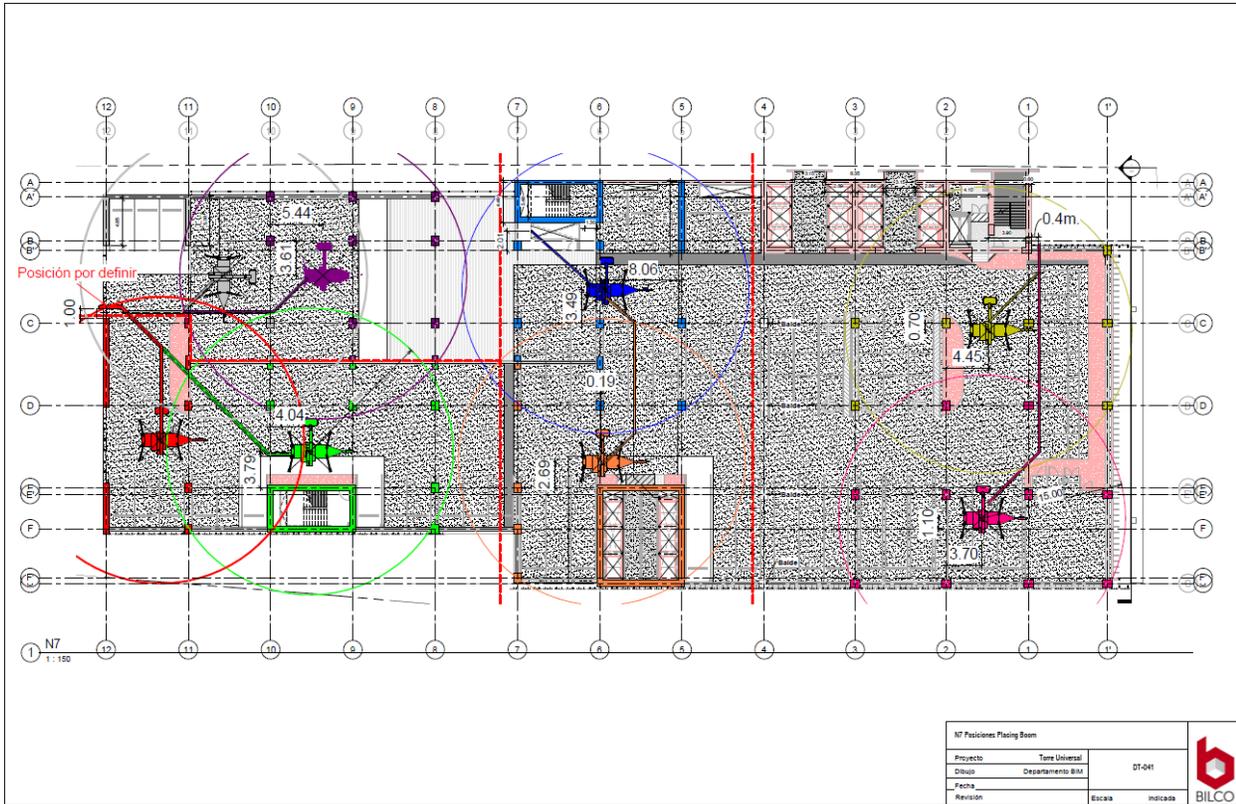
Anexo 14. Posible posición del tercer elevador de carga.
Fuente: Departamento BIM, Bilco Costa Rica, 2020.



Anexo 15. Posición final de los 3 elevadores y elevación.
Fuente: Departamento BIM, Bilco Costa Rica, 2020.

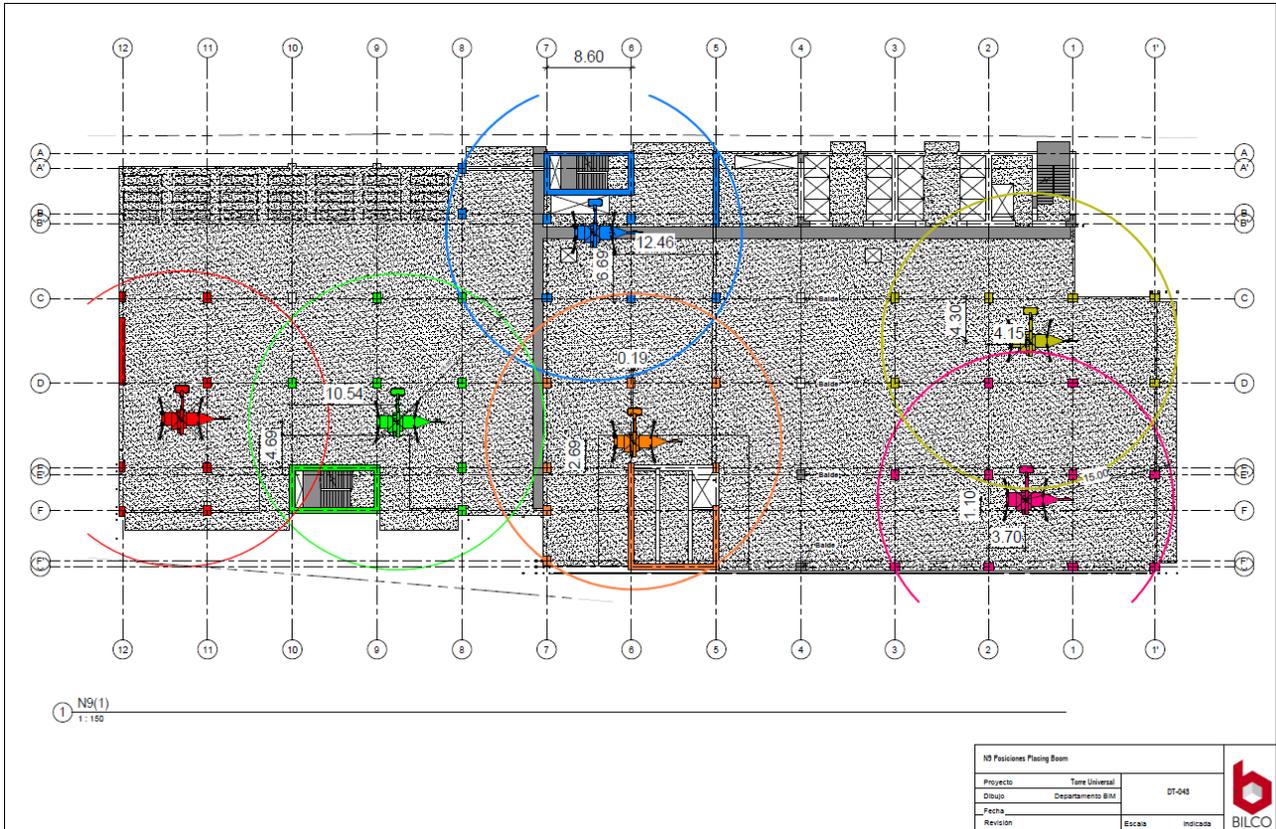


Anexo 16. Diagrama de uso para el colocador de concreto.
Fuente: Manual de servicio Pluma distribuidora de concreto HGY15.

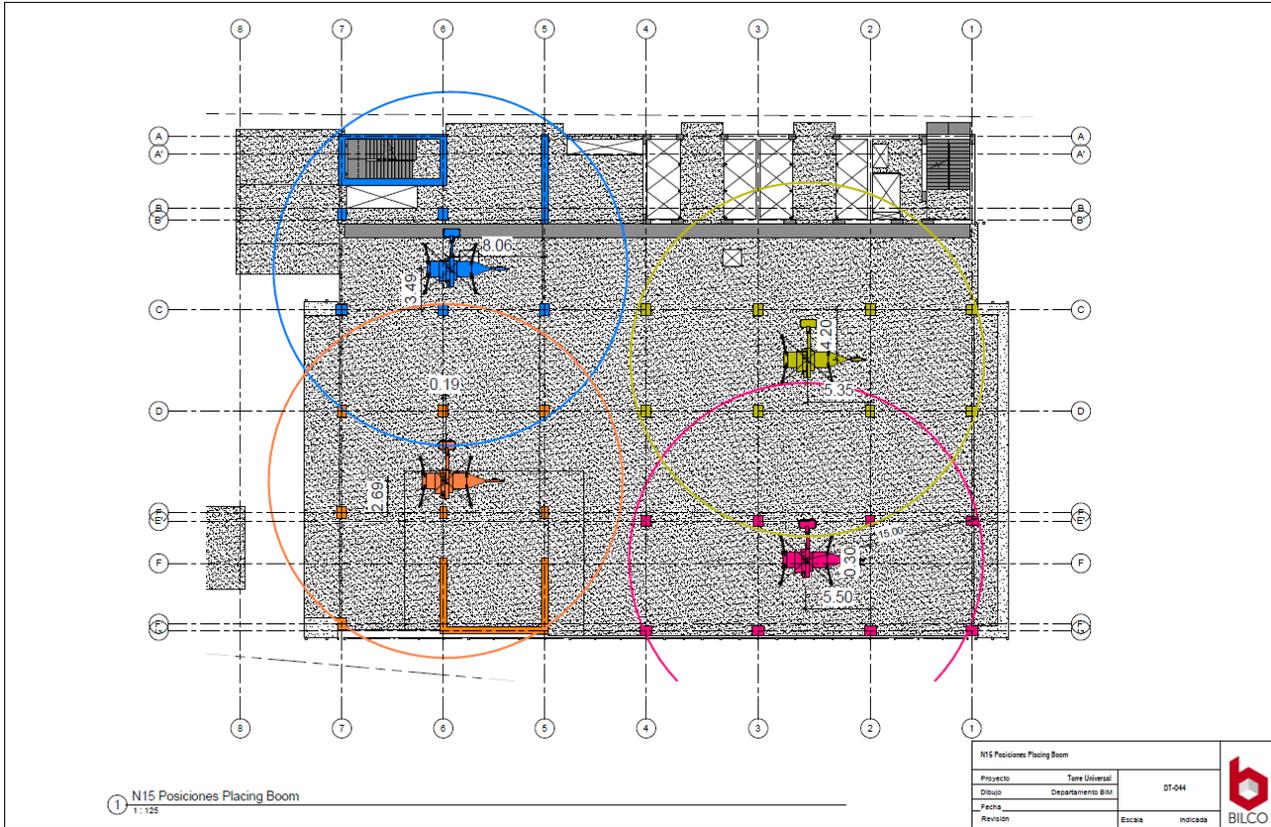


Anexo 17. Posiciones para uso del colocador de concreto dentro del edificio huella del nivel 1 al nivel 8.

Fuente: Departamento BIM, Bilco Costa Rica, 2020.



Anexo 18. Posiciones para uso del colocador de concreto dentro del edificio huella del nivel 9 al nivel 14.
Fuente: Departamento BIM, Bilco Costa Rica, 2020.



Anexo 19. Posiciones para uso del colocador de concreto dentro del edificio huella del nivel 15 al nivel 21.
Fuente: Departamento BIM, Bilco Costa Rica, 2020.

Cuestionario para involucrados.

1- ¿Qué consideraciones hay que tener en cuenta para instalar una grúa torre?

Tipo de sistema constructivo, Tipo Materiales, Procesos
CONSTRUCTIVOS, DISEÑO DE SITIO

Definir ubicación de la grúa
estudio de suelos
espacio para montaje y desmontaje del equipo - capacidad mínima de carga

2- ¿Qué criterio es de mayor importancia en la instalación de una grúa?

Productividad del proyecto

3- ¿Cuál es el proceso correcto del montaje de una grúa?

- VERIFICAR PARTES DE LA GRUA EN SITIO
- VERIFICAR SEGURIDAD OCUPACIONAL
- BANGUEO GRUA CAMION
- INSTALACION

4- ¿Cuál es el proceso adecuado para el desmontaje de una grúa?

- UBICACION GRUA CAMION PARA DESMONTAJE
- SEGURIDAD OCUPACIONAL
- CAMION PARA TRASLADO DE EQUIPOS
- DESMONTAJE PARTES

5- ¿Por qué eligieron esos modelos de grúa?

CAPACIDADES DE CARGA / COSTOS / DISPONIBILIDAD

6- ¿Qué hay que tomar en cuenta para el telescopaje de las grúas? (Costo, plazo, altura, cronograma)

7- ¿Consideran que las herramientas BIM realmente funcionaron para el proceso, planificación y manejo de cada uno de los equipos mayores en cuestión?

si, siempre y cuando se considere el criterio y conocimiento del equipo constructivo.

8- ¿Cuántas grúas se requieren y cómo se determina este número?

Depende del proyecto, tipo de proceso, plazo de ejecución de la obra, presupuesto, cargas a movilizar.

9- ¿Cómo se determina la posición de los anclajes para realizar el telecopaje?

DEPENDIENDO DE LA ALTURA DEL EDIFICIO

10- ¿Qué opina usted de la altura auto-estable vs la estructura?

DE BE ESTUDIARSE MUY BIEN DESDE LA PLANIFICACION INICIAL DEL PROYECTO

Anexo 20. Cuestionario sobre grúa torre.

Fuente: elaboración propia.

Cuestionario para involucrados.

1- ¿Qué consideraciones hay que tener en cuenta para instalar una grúa torre?

1. Cobertura de radio de la pluma con respecto al edificio a construir.
2. Capacidad de carga de la grúa tanto en punta, como en puntos específicos si se debe hacer isaje de elementos con pesos específicos en puntos específicos del edificio, por ejemplo elementos prefabricados.
3. Capacidad de soporte del suelo donde se va a instalar, se debe haber estudio de suelo en función del peso de la grúa y las cargas.
4. Ubicación de pluma para telescopaje.
5. Separación de la grúa respecto al edificio, para la colocación de andamios, elevadores de carga, bimestiles, monomastiles etc.
6. Colocación de arriostres, costo de los mismos, revisar la posibilidad de que la grúa sea autoestable (deseable, no siempre se puede por la altura del edificio)

2- ¿Qué criterio es de mayor importancia en la instalación de una grúa?

Todos los criterios de la pregunta uno son importantes para sacar el mejor provecho a unos de los recursos mas importantes del proyecto

3- ¿Cuál es el proceso correcto del montaje de una grúa?

1. Pruebas de suelos.
2. Diseño y construcción de cimiento de la grúa.
3. Colocación de acometida trifasica 480V, mallia de tierra
3. Traslado de contrapesos de base
- 4 Armado de cruciforme o empotramiento de base.
5. Colocación de cuerpos de torre.
6. Armado de pluma.
7. Isaje y colocón de cabina y tornamesa
8. colocación de pluma.
9. Enebrado de cable viajero y carrilo.
10. conexiones electricas.
11. pruebas de peso y calibración de peso.

4- ¿Cuál es el proceso adecuado para el desmontaje de una grúa?

1. Desconexión eléctrica
2. Desenebrado
3. Retiro de contrapesos.
4. Retiro de Pluma se baja armada y se desarma en piso
5. Desarme de cuerpos.
6. Retiro de pesos y cruciforme.
- 9 carga de piezas en camiones

5- ¿Por qué eligieron esos modelos de grúa?

1. Los modelos se eligen en función de los puntos de la pregunta 1, capacidad de carga, altura autoestable, 3. Radio de cobertura, 4 Capacidad en punta

6- ¿Qué hay que tomar en cuenta para el telescopaje de las grúas? (Costo, plazo, altura, cronograma)

1. la posición del telescopaje debe de tomarse en cuenta desde la instalación de grúa para que al telescopar o retraer la pluma, no "choque" con edificaciones cercanas con estructuras propias de la edificación en construcción.
2. Por costo se debe revisar la cantidad de telescopajes, ya que si es una grúa muy alta el costo de instalar la grúa a la altura maxima implica traer gruas camión de gran tamaño que tienen un costo muy elevado
3. Los tiempos de telescopaje deben coordinarse ya que pueden implicar tiempos muertos para el proyecto en ejecución.

7- ¿Consideran que las herramientas BIM realmente funcionaron para el proceso, planificación y manejo de cada uno de los equipos mayores en cuestión?

1. Por un tema de ubicación espacial la herramienta BIM es funcional, permite identificar colisiones con volúmenes u otras estructuras cercanas, sin embargo hay otros puntos concernientes a la capacidad, estabilidad y costo que no es posible apoyarse en BIM

8- ¿Cuántas grúas se requieren y cómo se determina este número?

1. Depende principalmente del area de cobertura de edificio y capacidad de carga.
2. Revisión de la ocupación de la grúa en actividades propias de la construcción.
3. Disponibilidad de espacio para colocación de una o mas grúas.

9- ¿Cómo se determina la posición de los anclajes para realizar el telescopaje?

Desconozco de los criterios

10- ¿Qué opina usted de la altura auto-estable vs la estructura?

Que la grúa sea autoestable es lo deseable ya que no se debe pensar en la colocación de arriostres a la estructura, estos arriostres terminan siendo estructuras importantes con un costo elevado y que muchas veces "estorban" al final para la colocación de fachadas por ejemplo. En edificios de mucha altura es muy difícil que exista un modelo disponible de grúa autoestable, es por esto que se debe recurrir a los arriostres y al telescopaje.

Anexo 21. Cuestionario sobre grúas torre.
Fuente: elaboración propia.

Cuestionario para involucrados.

1- ¿Qué consideraciones hay que tener en cuenta para instalar una grúa torre?

El espacio para coblarla, el radio que abarca, el área que se pretende abarcar y la manera en que se deberá desinstalar una vez realizada la obra.

2- ¿Qué criterio es de mayor importancia en la instalación de una grúa?

Determinar la ubicación más adecuada.

3- ¿Cuál es el proceso correcto del montaje de una grúa?

No lo conozco en detalle. Primero se realizan fundaciones, anclajes a la superficie y contrapesos. Posteriormente se comienzan a cobrar los cuerpos.

4- ¿Cuál es el proceso adecuado para el desmontaje de una grúa?

No lo conozco en detalle. / Depende del tipo de grúa y la altura.

5- ¿Por qué eligieron esos modelos de grúa?

No lo sé con exactitud.

6- ¿Qué hay que tomar en cuenta para el telescopaje de las grúas? (Costo, plazo, altura, cronograma)

El costo con respecto al tiempo que se va a utilizar y la altura requerida.

7- ¿Consideran que las herramientas BIM realmente funcionaron para el proceso, planificación y manejo de cada uno de los equipos mayores en cuestión?

Ayudaron a dimensionar la planificación.

8- ¿Cuántas grúas se requieren y cómo se determina este número?

Depende del tamaño del edificio (huella y altura), así como de los frentes de trabajo y el cronograma de obra.

9- ¿Cómo se determina la posición de los anclajes para realizar el telescopaje?

Lo desconozco.

10- ¿Qué opina usted de la altura auto-estable vs la estructura?

No conozco suficiente acerca de este tema.

Anexo 22. Cuestionario sobre grúas torre.

Fuente: elaboración propia.

Cuestionario para involucrados.

- 1- ¿Qué consideraciones hay que tener en cuenta para instalar un elevador de carga?
 - Espacio en lugar de trabajo
 - Cantidad de personal
 - Movimiento de personal
 - Movimiento de equipo y Material
 - Presupuesto
 - ZONA y superficie apta para instalación
 - INSTALACIONES ELECTRICAS
- 2- ¿Qué criterio es de mayor importancia en la instalación de un elevador de carga?
Tiempo efectivo del movimiento del personal, material
Rendimiento del personal.
- 3- ¿Cuál es el proceso correcto del montaje de un elevador de carga?
VERIFICAR CONDICIONES SEGURAS EN LA ZONA Y SEGURIDAD OCUPACIONAL DEL PERSONAL.
- 4- ¿Cuál es el proceso adecuado para el desmontaje de un elevador de carga?
VERIFICAR CONDICIONES SEGURAS EN LA ZONA Y SEGURIDAD OCUPACIONAL DEL PERSONAL.
- 5- ¿Por qué eligieron esos modelos de elevadores de carga?
POR CANTIDAD DE PERSONAL VS RECORRIDO VERTICAL
- 6- ¿Qué hay que tomar en cuenta para la instalación de un elevador de carga? (Costo, plazo, altura, cronograma)
SE REPITE LA PREGUNTA #1
- 7- ¿Consideran que las herramientas BIM realmente funcionaron para el proceso, planificación y manejo de cada uno de los equipos mayores en cuestión?
SI FUNCIONAN SIEMPRE Y CUANDO SE INVOLUCREN TODAS LAS DISCIPLINAS TAMBIEN ES MUY IMPORTANTE EL CONOCIMIENTO CONSTRUCTIVO DEL COORDINADOR
- 8- ¿Cuántos elevadores de carga se requieren y en cómo se determina este número?
Depende del tipo de proyecto, cantidad de personal, presupuesto
- 9- ¿Cómo se determina la posición de los anclajes para realizar el telecopaje?
DEPENDIENDO DE LA ALTURA Y DISEÑO DEL EQUIPO

Anexo 23. Cuestionario para elevadores de carga.
Fuente: elaboración propia.

Cuestionario para involucrados.

- 1- ¿Qué consideraciones hay que tener en cuenta para instalar un elevador de carga?
 1. Capacidad necesaria de carga del elevador
 2. Ubicación del elevador.
 3. temas de cerramientos que garanticen seguridad durante la subida y bajada del elevador a ser normalmente colocados en ductos abiertos.
 4. Cantidad de piso, diseño de contrapesos y cable viajero.
- 2- ¿Qué criterio es de mayor importancia en la instalación de un elevador de carga?
 1. Capacidad de carga y 2. garantizar condiciones de seguridad
- 3- ¿Cuál es el proceso correcto del montaje de un elevador de carga?
 1. Colocación de rieles guías.
 2. instalación eléctrica segura
 3. Armado de cabina.
 4. Pruebas
- 4- ¿Cuál es el proceso adecuado para el desmontaje de un elevador de carga?
 1. Desabilitar el elevadores.
 2. desarme y retiro de cabina.
 3. desarme de Rieles Guías y cable viajero
- 5- ¿Por qué eligieron esos modelos de elevadores de carga?

Se eligen modelos en función del tamaño del ducto disponible , altura de subidad y capacidad de carga
- 6- ¿Qué hay que tomar en cuenta para la instalación de un elevador de carga? (Costo, plazo, altura, cronograma)
 1. Costo : que el beneficio del elevador compense el costo del mecanismo , ya que se puede hacer uno de por ejemplo grua torre con plataformas en los pisos para subir material.
 2. Plazo: Productividad de personal al aumentar la velocidad de subidad de materiales y exponer menos al personal de subir material mar
- 7- ¿Consideran que las herramientas BIM realmente funcionaron para el proceso, planificación y manejo de cada uno de los equipos mayores en cuestión?

No.
- 8- ¿Cuántos elevadores de carga se requieren y en cómo se determina este número?
 1. Esto se calcula en función de la cantidad de material necesario de subir y bajar.
 2. En edificios de mucha altura es indispensable el uso de elevadores de carga, la cantidad esta en función también de un análisis de cantidad de personal y necesidad de subir o bajar materiales o personal.
- 9- ¿Cómo se determina la posición de los anclajes para realizar el telecopaje?

No entiendo la pregunta.

Anexo 24. Cuestionario para elevadores de carga.

Fuente: elaboración propia.

Questionario para involucrados.

1- ¿Qué consideraciones hay que tener en cuenta para instalar un elevador de carga?

- Superficie soportante.
- Tener suficientes puntos seguros de anclaje.

2- ¿Qué criterio es de mayor importancia en la instalación de un elevador de carga?

Se debe velar por que sea un proceso seguro.

3- ¿Cuál es el proceso correcto del montaje de un elevador de carga?

No lo conozco en detalle. / Se anclan las bases y se comienzan a colocar los cuerpos y arriostres.

4- ¿Cuál es el proceso adecuado para el desmontaje de un elevador de carga?

No lo conozco en detalle. / Se van desmontando los cuerpos de arriba hacia abajo.

5- ¿Por qué eligieron esos modelos de elevadores de carga?

- Son fáciles de operar.
- Fácilmente se pueden programar las paradas.
- La instalación es sencilla.
- Cuentan con suficiente capacidad de carga.

6- ¿Qué hay que tomar en cuenta para la instalación de un elevador de carga? (Costo, plazo, altura, cronograma)

Se deben de tomar en cuenta todos los aspectos mencionados. Sin embargo, es muy importante analizar la altura del edificio y la facilidad para subir carga por otros medios.

7- ¿Consideran que las herramientas BIM realmente funcionaron para el proceso, planificación y manejo de cada uno de los equipos mayores en cuestión?

Sí son de utilidad.

8- ¿Cuántos elevadores de carga se requieren y en cómo se determina este número?

Se debe analizar con respecto a la cantidad de personal, altura de la edificación. En este aspecto es muy importante el juicio de los involucrados que tengan experiencia en proyectos similares.

9- ¿Cómo se determina la posición de los anclajes para realizar el telecable?

No conozco esos detalles.

Anexo 25. Questionario para elevadores de carga.

Fuente: elaboración propia.

Cuestionario para involucrados.

- 1- ¿Qué consideraciones hay que tener en cuenta para instalar un elevador de carga?
 - ALTURA
 - HORARIOS
 - SALIDAS
 - PLACA DE FUNDACION
 - SEO
 - ANCLAJES LATERALES
 - CAPACIDAD
- 2- ¿Qué criterio es de mayor importancia en la instalación de un elevador de carga?
 - ALTURA Y CAPACIDAD
- 3- ¿Cuál es el proceso correcto del montaje de un elevador de carga?
INSTALACION ELECTRICA, FUNDACION, PRIMEROS CUERPOS VERTICALES, CABINA, ANCLAJES DE CUERPOS VERTICALES,
- 4- ¿Cuál es el proceso adecuado para el desmontaje de un elevador de carga?
BAJAR CUERPOS VERTICALES, IR QUITANDO ANCLAJES, DESARMAR CABINA Y POR ULTIMO PARTE ELECTRICO
- 5- ¿Por qué eligieron esos modelos de elevadores de carga?
EL DEPARTAMENTO DE EQUIPOS REVISÓ TIPOS Y PARA EL EDIFICIO MÁS ALTO QUE FUE URBAN ERA EL QUE CUMPLIA CON CAPACIDAD DE CARGA Y ALTURA
- 6- ¿Qué hay que tomar en cuenta para la instalación de un elevador de carga? (Costo, plazo, altura, cronograma)
PRIMERO ALTURA
SEGUNDO CAPACIDAD
TERCERO UBICACION
CUARTO MONTAJE - DESMONTAJE
QUINTO COSTO
- 7- ¿Consideran que las herramientas BIM realmente funcionaron para el proceso, planificación y manejo de cada uno de los equipos mayores en cuestión?
SI
- 8- ¿Cuántos elevadores de carga se requieren y en cómo se determina este número?
FUNCIONALIDAD DE PROYECTO, CANTIDAD DE FLUJO DE PERSONAS Y DE ZONAS DE TRABAJO
- 9- ¿Cómo se determina la posición de los anclajes para realizar el telecopaje?
 - CAPACIDAD DE SOPORTE EN EL QUE EL ELEVADOR SEA AUTOESTABLE

Anexo 26. Cuestionario para elevadores de carga.
Fuente: elaboración propia.

Referencias

- (2020). Obtenido de CRANE AND MACHINERY:
<https://www.gruasyaparejos.com/grua-torre/grua-torre-definicion/>
- Ahmadian, F. A. (2015). *Accounting for transport times in planning off-site shipment of construction materials*.
- ANDALUCES, A. (1982). *ALQUIANSA*. Obtenido de <https://www.alquiansa.es/es/alquiansa/quienes-somos/>
- Eastman, C., Teicholz, P., Sacks, R., & Liston, K. (2011). *BIM Handbook. A guide to building information modeling for owners, managers, designers, engineers and contractors*. Nueva Jersey: John Wiley & Sons, Inc.
- Golam. (2008). *Building information modeling in site management*.
- Institute, P. M. (2013). *Guía de los Fundamentos para la dirección de proyectos*. Pensilvania USA: PMI Publication .
- ISARC. (2018). *Integrated digital and model based construction logistics management based on lean thinjing approaches* . Obtenido de <https://www.iaarc.org/publications/fulltext/ISARRC2018-Paper099.pdf>
- Kiesel, W. (14 de Junio de 2017). *An Introduction to Building Information Modeling*. (W. Kiesel, Intérprete) USA.
- (s.f.). *Manual de servicio Pluma distribuidora de concreto HGY15*.