

Herramienta para análisis de ingeniería de valor para sistemas de entrepisos y muros



Abstract

The present report is about most widely used constructive methods by Edificar. Those are exposed with the aim of orienting and giving concrete bases for the selection of the type of constructive methods according with the different projects, taking care of the different contexts in which the projects are developed.

The project consists of an investigation of each one of the constructive methods, which are walls, columns, prefabricated mezzanine (Tilo), mezzanine made in the project, and prestressed mezzanine from Eurobau.

From this information, the main activities of each constructive system are determined and they are analyzed in three different projects in order to get manpower and crane yields.

Parallel to this compilation of information the prices of materials and manpower are collected.

From this information is applied the knowledge of the different constructive systems from the evaluation of projects in subjects technicians as economic and financial, in order to judge qualitative and quantitatively the advantages and disadvantages to assign resources to a certain project.

The objective of this work is to provide information for the determination with the technical and economic viability, of the investment in a project.

The end item of investigation is a computer tool with which an imitation of the constructive processes is obtained, allowing to analyze different scenes with respect to amount, type of resources and interaction between the same, with the purpose of evaluating the difference of productivity and prices from a system to another one.

Keywords: Manpower, crane yields, prefabricated mezzanine (Tilo), mezzanine made in the project, and prestressed mezzanine from Eurobau.

Resumen

En el presente informe se exponen los tipos de sistemas constructivos de mayor uso para la empresa Edificar con el objetivo de orientar y dar bases concretas para la elección del tipo de sistemas que convenga utilizar en diferentes tipos de proyectos, al atender las problemáticas generales presentadas en los diferentes contextos en los cuales se desarrollan los proyectos.

El proyecto consta de una investigación de cada uno de los sistemas constructivos, a saber muros, columnas, entepiso prefabricado Tilo, entepiso colado en sitio y entepiso pretensado de la empresa Eurobau.

A partir de esta información, se determinan las actividades principales de cada sistema constructivo y se analizan en tres diferentes proyectos para obtener rendimientos, tanto de mano de obra como de rendimientos de grúa.

Paralelo a esta recopilación de información, se buscan los precios de materiales y mano de obra.

Una vez determinada esta información, se da la aplicación del conocimiento de los diferentes sistemas constructivos a la evaluación de proyectos en temas tanto técnicos como económicos y financieros, para juzgar cualitativa y cuantitativamente las ventajas y las desventajas de asignar recursos a un determinado proyecto.

El objetivo de este trabajo es proveer información para la determinación de la viabilidad técnica y económica, de la inversión en un proyecto.

El producto final de investigación es una herramienta computacional con la cual se logra una imitación de los procesos constructivos, al analizar diferentes escenarios respecto a cantidad, tipo de recursos e interacción entre los mismos, con el fin de evaluar la diferencia de productividad y de precios de un sistema a otro.

Keywords: Rendimientos mano de obra, rendimientos grúa, entepiso prefabricado, entepiso pretensado, entepiso colado en sitio

Herramienta para análisis de ingeniería de valor para sistemas de entrepisos y muros

MARÍA FERNANDA UREÑA CORDERO

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

Enero del 2012

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA
ESCUELA DE INGENIERÍA EN CONSTRUCCIÓN

Contenido

Prefacio	1
Resumen Ejecutivo.....	2
Introducción.....	3
Análisis de sistemas constructivos de edificios	4
Sistema de edificios en columnas	4
Sistema de edificios en muros.....	6
Análisis de sistemas constructivos de entrepisos	10
Entrepisos de losas pretensadas	10
Entrepisos de losas prefabricadas.....	14
Entrepisos de losas coladas en sitio.....	18
Planificación y estudio de mano de obra e insumos	24
Evaluación técnica y económica de un proyecto.....	25
Proyectos estudiados.....	27
Metodología.....	30
Rendimientos y consumos de mano de obra	31
Muestreo y descripciones de datos.....	33
Manual de usuario de la herramienta de diseño.....	36
Resultados.....	39
Análisis de los resultados	47
Conclusiones	49
Apéndices.....	51
Recomendaciones	52
Referencias	53

Prefacio

Hoy en día, en el campo de la Ingeniería Civil, se han desarrollado muchas tecnologías y procedimientos constructivos para promover construcciones más económicas y eficientes en función del avance, los costos y la calidad de la obra. Estos sistemas se basan en diversos métodos constructivos, tanto para entresijos como muros, con diferentes ventajas y desventajas en función a los recursos y contexto en el cual se desarrolla un proyecto, de ahí la importancia para la empresa Edificar de analizar, evaluar y valorar las condiciones de cada sistema, los cuales soporten las posibles recomendaciones y conclusiones que permitan escoger un sistema constructivo.

La empresa constructora tiene un importante papel, al aportar la experiencia y el conocimiento constructivo en etapas tempranas como la planificación, diseño, abastecimiento y otras, por lo tanto es más factible la ejecución del proyecto.

Debido a lo anterior surge la idea del presente Proyecto de Graduación que busca mejorar la competitividad de la empresa mediante un análisis de los principales sistemas constructivos sintetizados en una herramienta que facilite su análisis para diferentes proyectos con el fin de generar valores, los cuales ayuden a la toma de decisiones antes del diseño e ingenierías de valor que permitan maximizar y optimizar los recursos del proyecto.

Se le agradece al profesor guía Ing. Miguel Artavia por su asesoría, al igual que a los ingenieros en Edificar:

- Ing. Román Salazar
- Ing. Carmen Penabah
- Ing. Carlos Ramirez
- Ing. Leonardo Brenes
- Ing. Verny Alfaro

-Ing. Alejandro Porras
Por su apoyo y aporte de conocimiento fue posible la realización del presente proyecto.

Resumen ejecutivo

Las Empresas Constructoras y Desarrolladoras se enfrentan al reto de aumentar la productividad con el fin de balancear las variables *tiempo* y *costo* en los proyectos de obra civil. A partir de este concepto, surge la idea de este proyecto, el cual inicia con la investigación de cada sistema constructivo.

A partir de esta base, se realizó un estudio de flujo de trabajo para determinar los procedimientos seguidos en cada proceso

constructivo y con estas tareas identificadas se programó una metodología de toma de rendimientos en los proyectos estudiados.

Los rendimientos determinados, tanto para la mano de obra como del tiempo de la grúa torre, se tomaron con la colaboración de varios encargados en el proyecto, para poder cubrirlos todos durante el mismo periodo de estudio. Estos rendimientos fueron tomados y estudiados en cantidades significativas para obtener datos confiables.



Figura 1. Proyectos estudiados. (1) Proyecto Urbano, 90% obra gris terminada. (2) Proyecto Vistas de Nunciatura, 40% obra gris terminada. (3) Proyecto F-30, 40% obra gris terminada. Referencia 2.

Este trabajo se sintetiza en una herramienta para la planeación, reingeniería y el análisis de proyectos de construcción, al mismo tiempo parte de un caso real consistente en el proceso constructivo de una estructura en concreto reforzado que incluye columnas, muros, vigas fabricadas en sitio y prefabricadas, entrepiso pretensado, entrepiso prefabricado y entrepiso colado en sitio. Inicialmente se llevó a cabo una labor de campo, en donde para cada actividad se registró la duración, las cantidades de obra y los recursos involucrados.

Con base en esta información se diseñó un método comparativo de sistemas constructivos, colateralmente se respetó la secuencia de actividades y los recursos utilizados. El modelo trabaja a través de una

interfaz con Microsoft Excel y macros desarrollados en Visual Basic, a través de la cual se le facilita al usuario el ingreso de los datos del proyecto que se desea analizar. Esta integración de herramientas simula diferentes escenarios para el proyecto y analizar oportunidades de mejora y asigna a diferentes procesos constructivos.

Los resultados de la investigación se redujeron en un estudio detallado de cada sistema constructivo, con base en el cual se obtuvieron resultados de productividad y costos de cada proceso constructivo, al comparar ahorros, ventajas y beneficios tanto para las empresas constructoras, como para los clientes, la sociedad y el medio ambiente.

Introducción

El presente proyecto busca tener como producto, una visión de los procesos constructivos más utilizados por Edificar, basaba en la investigación que permita considerar los principales aspectos de evaluación de sistemas constructivos de muros y entrepisos tomando en cuenta los diferentes factores que afectan el proceso como costos, mano de obra, rendimientos de maquinaria, acabados y limitaciones estructurales, ligado al avance de obra para definir los elementos los cuales marcan la ruta crítica en el avance de proyecto.

En el campo de la Ingeniería Civil se han desarrollado muchas tecnologías y procedimientos constructivos para promover construcciones más económicas y eficientes en función del avance, los costos y la calidad de la obra. Estos sistemas se basan en diversos métodos constructivos, tanto para entrepisos como muros, con diferentes ventajas y desventajas en función a los recursos y contexto en el cual se desarrolla un proyecto, de ahí aparece la importancia para la empresa Edificar de analizar, evaluar y valorar las condiciones de los sistemas constructivos más importantes y utilizados en la empresa, que soporten las posibles recomendaciones y conclusiones que permitan escoger un sistema constructivo.

Bajo este contexto, Edificar necesita un método comparativo el cual facilite el análisis del proceso constructivo más óptimo con el fin de generar valores que ayuden a la toma de decisiones antes del diseño e ingenierías de valor que permitan maximizar y optimizar los recursos del proyecto.

Para la toma de rendimientos se estudiaron los proyectos Urbano en Rohmoser, sistema constructivo de muros y columnas con entrepiso colado en sitio y parte de sus vigas prefabricadas. El proyecto F-30, el cual es un centro de oficinas construido con entrepiso y

vigas pretensadas y columnas de concreto reforzado. El último proyecto, Vistas de Nunciatura, es un complejo habitacional con un sistema de muros y entrepiso de losa prefabricada "Tilo". Esta investigación incluyó desde proceso constructivo, problemas de construcción, ventajas y desventajas hasta acabados.

A partir del análisis de cada sistema constructivo, se obtuvieron diagramas de procedimientos, las cuales se estudiaron como tareas en la toma de rendimientos, tanto para la toma rendimientos de mano de obra, como para los rendimientos de la grúa, siendo esta el elemento más crítico en el tiempo de construcción.

La investigación se sintetizó en un programa el cual busca mediante un método comparativo, cuales serian los escenarios de construir con diferentes sistemas constructivos.

El programa tiene limitaciones principalmente de índole estructural, ya que siempre debe establecerse con la ayuda de los ingenieros especializados en la materia, ellos deben determinar si es posible física o materialmente hacer un proyecto. Este análisis no puede ser asumido por el evaluador económico del proyecto, sin embargo, al conocer las características de los posibles sistemas constructivos, en conjunto con la experiencia, es la base para proponer alternativas constructivas que sea beneficioso para la construcción en tiempo o costo.

Análisis de sistemas constructivos de edificios

"El conocimiento de los sistemas y tipos estructurales es muy importante para seleccionar la estructura más apropiada, puesto que a través de este conocimiento de cada sistema y su uso correcto en determinadas circunstancias" Nelson, Diseño de Estructuras de concreto 1999

Muchas veces el amplio conocimiento del sistema constructivo tradicional y su reproducción vía el medio académico han provocado una discriminación hacia la innovación tecnológica y la implantación de nuevos sistemas constructivos.

Por consiguiente, en este proyecto se realiza un estudio sobre los diferentes sistemas constructivos predominantes, con la intención, no solo de proporcionar sino ampliar el conocimiento de las diversas opciones existentes en este medio, a manera de guía de posibles soluciones constructivas.

A continuación se presenta una investigación de los sistemas constructivos los cuales se analizarán con el fin que sirva como base para el respectivo análisis de ventajas y desventajas de cada sistema.

Primeramente, se analizará el sistema en muros como elemento estructural y sistema en columnas en concreto reforzado, por lo tanto es el más popular y desarrollado de los materiales constructivos, pues aprovecha en forma muy eficiente las características de buena resistencia en compresión, durabilidad, resistencia al fuego y maleabilidad de concreto, junto con las de alta resistencia en tensión y ductilidad del acero.

Por otra parte se analizarán los sistemas de entresijos, colados en sitio, prefabricados (losas Tilo) y pretensados (Entresijo Eurobau).

Se analizarán el proceso constructivo, las limitaciones estructurales, los acabados y los

costos. Si se considera como afecta la forma en la estructura y como afecta la forma en el costo de la estructura, porque la elección apropiada del material es un factor muy determinante en el campo de las estructuras, pues la estabilidad de una obra se mejora por una acertada selección de materiales a emplear y de la estructura más favorable a los mismos.

Sistema de edificios en columnas

Existen columnas de mampostería simple, concreto reforzado, acero y madera. Para el sistema de columnas se estudiará con elementos colados en sitio. El sistema está basado en dos elementos estructurales básicos los cuales son las columnas y las vigas. Las columnas es un complemento que trabaja a compresión lineal y está sujeto a aplastamiento o pandeo, dependiendo de su esbeltez relativa.

La viga es un elemento lineal sujeto a una carga transversal; debe generar resistencia interna a los esfuerzos cortantes y de flexión y resistir flexión excesiva.

A continuación, se analizarán las características del sistema.

Análisis del proceso constructivo del sistema de columnas

El proceso constructivo para la construcción de columnas inicia con la hechura de la armadura

según detalle en los planos. Una vez que se tiene la armazón de la columna, esta se une al elemento que lo precede, ya sea la fundación o la viga corona en un entrepiso. El proceso continúa con la colocación de los helados como paso previo al encoframiento.

Posteriormente, viene el vaciado del concreto y la vibración del elemento, para finalmente completar con el desmoldado.

Formaleta en columnas

Uno de los temas más importantes en los encofrados es la seguridad y esta se vuelve indispensable, no solo en contra de la rotura del sistema que soporta la mezcla, sino contra la deformación en toda su longitud, por ende el encofrado debe ser lo suficientemente rígido contra ello.

La altura del encofrado será de acuerdo con la necesidad constructiva, con la salvedad de dejar ventanas de inspección y de vertido de la mezcla para evitar alturas que podrían disgregar la mezcla.

El proceso constructivo de columnas tiene como elemento crítico el tipo de formaleta que se utilizará, el cual dependerá del tipo de columna. La columna cuadrada es la más común y se utiliza principalmente Formaleta Symons, por su tamaño.



Figura 2. Colocación y refuerzo de columnas en proyecto Urbano. Del autor

Análisis de acabado del sistema de columnas

La principal característica arquitectónica del sistema de vigas y columnas es en cual requiere

el uso de un sistema estructural secundario de relleno para producir las superficies de los muros. El sistema liviano más común es en láminas de Gypsum.

Los muros divisorios solo cumplen la función de separar espacios dentro de la edificación y, por tanto no se consideran estructurales. Este sistema es rápido y de fácil construcción y son muy comunes en habitaciones y áreas de servicios. Para el análisis del sistema constructivo se analizará el precio de instalación por metro cuadrado.

Sistema de edificios en muros

El sistema de muros de carga posee función estructural; es decir, que soportan otros elementos estructurales del edificio, como vigas, entrepisos o cubiertas.

Los sistemas de muros de carga se construirán con materiales resistentes como mampostería, acero o concreto reforzado. Para el estudio de la presente investigación, se basará solo en muros colados en sitio, a continuación se recopilan las principales características de este proceso.

Análisis del proceso constructivo del sistema de muros

El Sistema de muros colados en sitio tiene muchas ventajas entre las cuales están una alta resistencia, lo cual garantiza una máxima protección contra sismos y daños, acabados al gusto del cliente, ya que tiene gran versatilidad y adaptabilidad en dimensiones y distribución arquitectónica. Y economía en materiales y mano de obra si se da un adecuado manejo de los tiempos de trabajo.

El proceso constructivo para colar en sitio lleva una serie de trabajos pre-colada, los cuales son vital importancia para que la estructura

funcione adecuadamente. Estas tareas son principalmente la colocación de previstas de instalaciones eléctricas, hidráulicas, de gas y servicios. En este punto se debe tener especial cuidado en el arranque de las cajas eléctricas porque en la fundida pueden desplazarse y quedar desalineadas. Además se rellenan para evitar la penetración del concreto.

El proceso de colado debe de hacerse respetando la altura de colada y a los tiempos

establecidos sin sobrepasar el tiempo máximo de espera para un concreto en el chompi. Además, debe considerarse el proceso de vibrado y de curado.

La formaleta es el paso más importante, pues de su debida colocación dependerá que se dé un buen acabado, este proceso se describe a continuación.

Sistema constructivo para columnas y muros colados en sitio

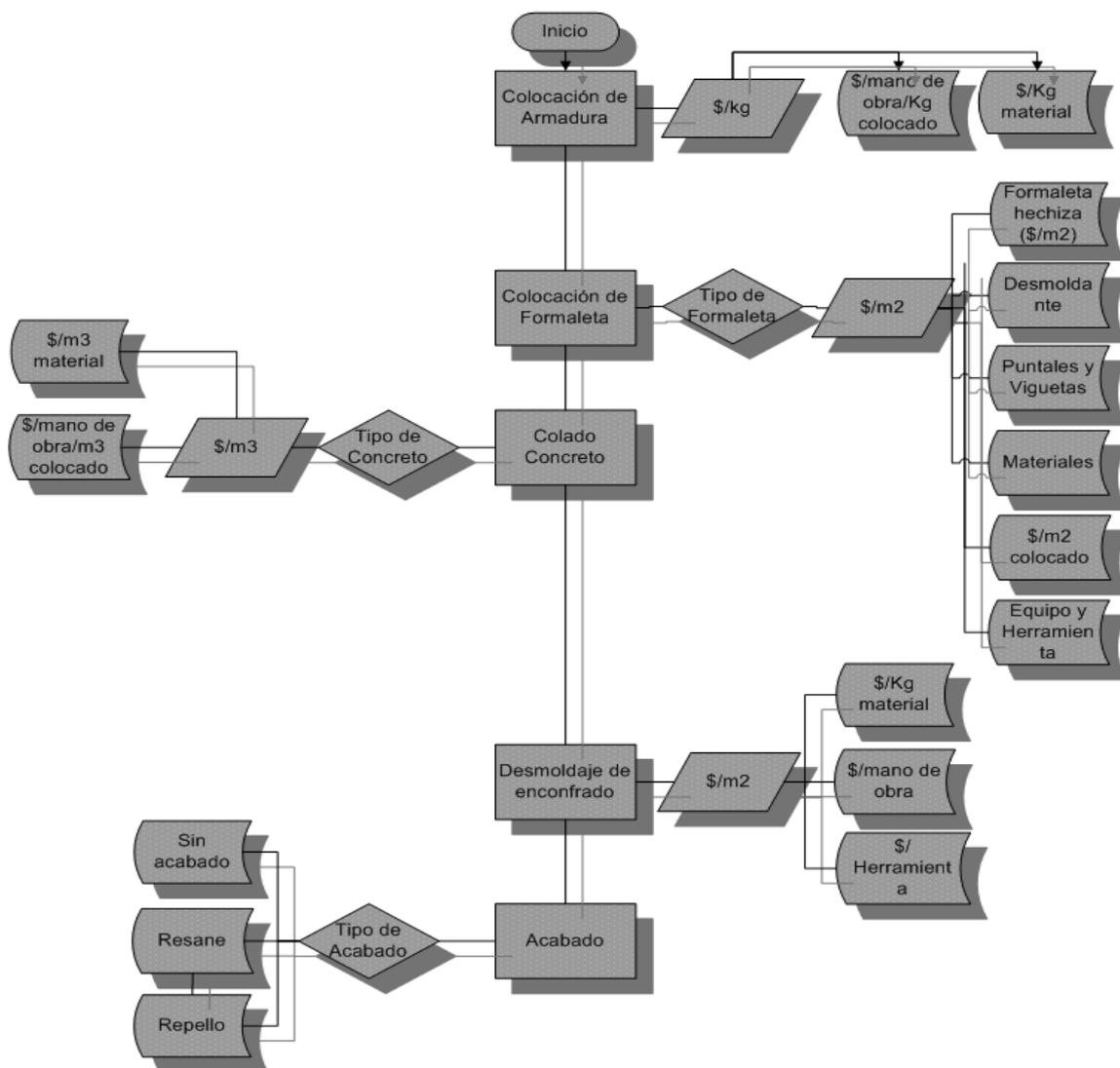


Figura 3. Diagrama de proceso constructivo de muros y columnas. Del Autor, formato .vsd

Formaleta en muros

La formaleta tiene la función de darle forma al concreto y frecuentemente define su aspecto, de tal manera la selección de la misma deben seguirse los parámetros establecidos por el diseño arquitectónico.

Estos parámetros deben considerar la estética de la masa y los materiales por utilizar para lograr la apariencia buscada. La formaleta debe ser ajustable, para evitar la pérdida de lechada y las contracciones de los agregados que impedirían o dañarían la homogeneidad del colorido, además debe ser indeformable para conservar las formas y resistir la fuerza de la vibración durante el proceso de colado.

El sistema de formaleta que se estudiará para muros es la Orma, pues es más grande y pesada, por lo cual soporta más presión. Este sistema está compuesto por paneles, accesorios y herramientas de montaje.

Debido a las características de la orma es necesario el uso de la grúa para movilizar cada panel a su lugar, tanto para el encofrado como para el desmolde de piezas.

Los paneles son de tamaños estándares y modulares, esto permite que se adapten a las exigencias arquitectónicas y formen un conjunto de soluciones concretas para el proceso de diseño y producción de obra. Además, permiten la construcción de todo tipo de espacios, integrando varios elementos monolíticamente con la estructura.

El proceso de montaje se facilita colocando primero los tableros de los muros interiores y se continúa con los exteriores, previa revisión de las mallas y aceros de refuerzo así como de las instalaciones de servicio. Los paneles se unen entre sí mediante cuñas y pasadores. Posteriormente, se alinean y se aploman los muros.

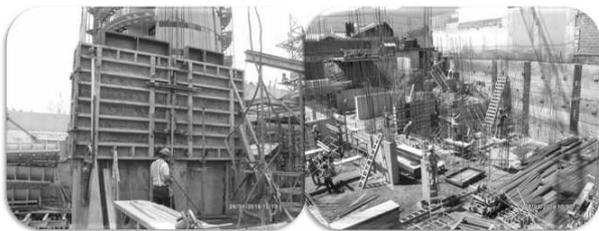


Figura 4. Colocación y refuerzo de muros en proyecto Urbano.
Del autor

Durante el proceso de encofrado se debe tener en cuenta los siguientes puntos:

-Limpieza: antes de colar se debe revisar que haya una buena limpieza dentro de la formaleta, ya que la suciedad se reflejara en espacios vacíos cuando se quite la formaleta y conllevará a mayor inversión en acabado.

-Modulación: Es importante la existencia un plano de modulación de paneles para aprovechar mejor el material y tener un buen control.

-Hermetismo de las juntas.

-Apuntalamiento: El apuntalamiento debe estar diseñado de acuerdo con las cargas que va a soportar y va colocado con un sistema de viguetas las cuales sostendrán el peso de la colada y se deben mantener cierto tiempo hasta que el concreto alcance el mínimo de resistencia. Se debe asegurar la estructura de 3 a 4 pisos por debajo del piso de vaciado.

-Desmoldante: Debe utilizarse algún líquido desmoldante para evitar que la formaleta se quede reherida al concreto.

El proceso de desmolde es de vital importancia y debe hacerse con al menos un día de haberse colado y corroborado que no se encuentre fresco y que por lo menos tenga la resistencia mínima necesaria para desencofrar.

Se desmonta mediante el uso de las herramientas adecuadas para evitar que la formaleta se quede pegada al concreto.

Análisis de tiempos de grúa para el sistema muros y columnas

Los muros y las columnas tienen uso de grúa, principalmente para la colocación de formaleta, también utilizan otros usos como para el traslado de concreto en "concha" para lugares de difícil acceso de la grúa telescópica o a una altura que se sobrepasa de los límites de la telescópica.

La grúa tiene otros trabajos mínimos diariamente involucrados con el traslado de material de construcción y este se estimó de acuerdo con un porcentaje del día diariamente. A continuación se detallan, en un diagrama, los principales trabajos de la grúa en muros y concreto y su incidencia en tiempos de grúa.

Diagrama de flujo para el proceso constructivo de columnas y muros desde la perspectiva de tiempo de la grúa.

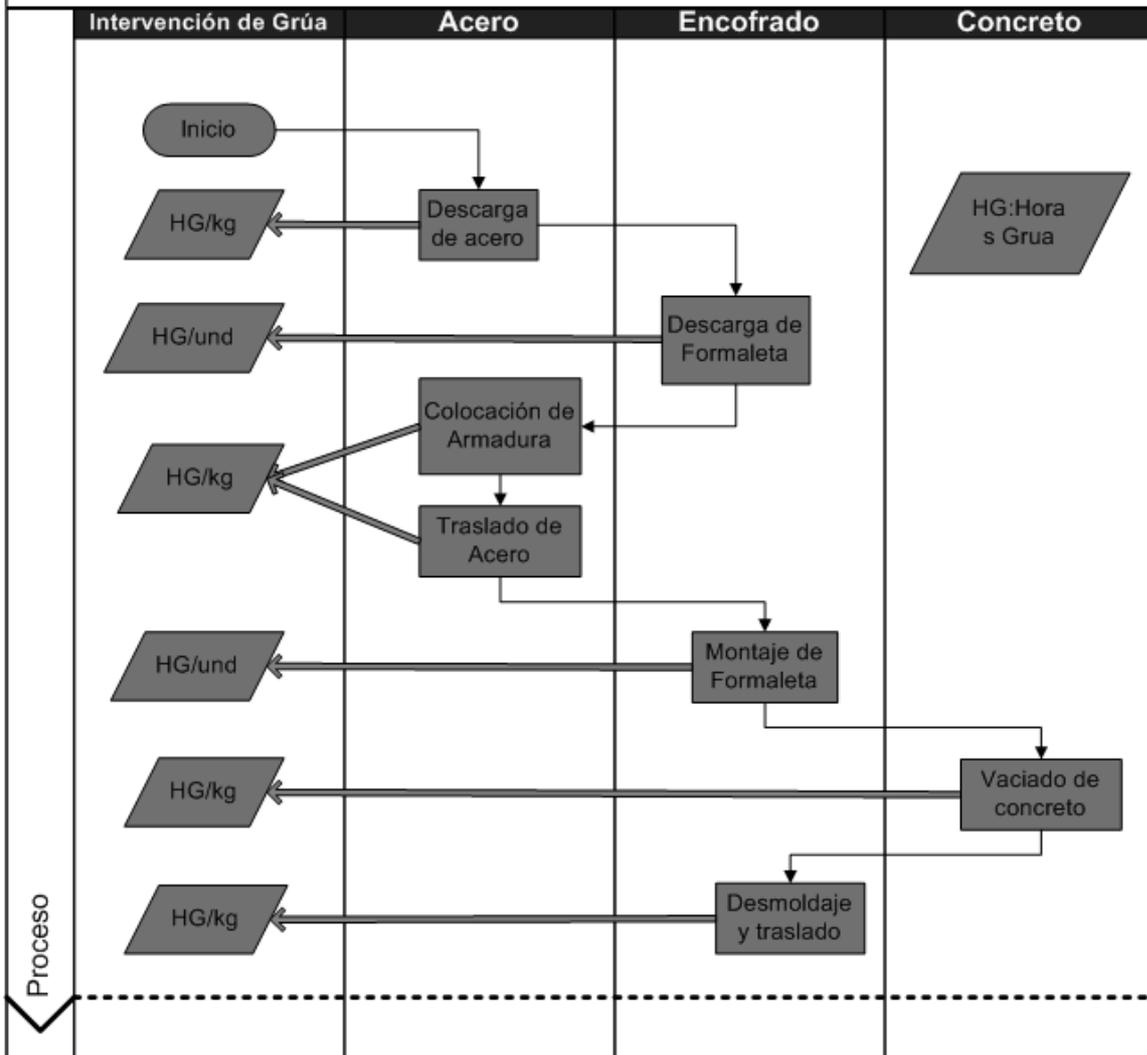


Figura 5. Diagrama de funcionamiento de la grúa para el sistema constructivo de muros y columnas. Del Autor, formato .vsd

Análisis de acabado del sistema de muros

El acabado de la pared dependerá de la formaleta utilizada, así como la correcta colocación y extracción de la misma. Normalmente, se cotiza un resane para paredes por posibles detalles que se deban corregir, sin embargo, un mal manejo del encofrado deja como resultado paredes con rebabas y

formaletas abiertas provocarán que se deba recurrir forzosamente a materiales de acabado para lograr superficies adecuadas para recibir los últimos toques.

El material más común utilizado para perfeccionar el estado de la pared es el repello, este se hace lanzado con la cuchara; después se pasa una regla para dar acabado uniforme a la superficie y aplomada.

Análisis de sistemas constructivos de entrepisos

La elección del sistema de entrepiso para una edificación, dependerá de diferentes factores relacionados directamente con la obra, por ejemplo la resistencia estructural y acabados arquitectónicos. Afectan también factores externos como el tiempo de construcción y el factor económico. A continuación se estudiarán como afectan esos factores para los tres tipos de entrepiso más utilizados por la empresa Edificar.

Entrepisos de Losas pretensadas

Las losas pretensadas para entrepisos tienen ventajas importantes en cuanto al manejo y la logística del proceso constructivo. Estas ventajas se basan principalmente en la limpieza y la eliminación de procesos constructivos en obra.

En Costa Rica existen diferentes casas fabricantes de losas pretensadas para entrepiso y de acuerdo con eso se les nombra. Las empresas que fabrican este producto son PC (Losa Lex), Escosa (Multitubular) y Eurobau (Euro Losa) A continuación, se estudiará el proceso constructivo para las losas pretensadas de Eurobau, al ser esta empresa el principal proveedor de Edificar.

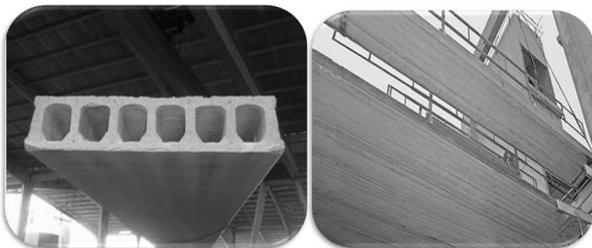


Figura 6. Colocación de entrepiso pretensado. Referencia 3.

El sistema de Eurolosa se fabrica con concreto alivianado, es una buena solución para entrepisos de grandes luces y altas cargas de servicio. Este sistema se fabrica en módulos de 1.20 m. de ancho y en peraltes de 15, 20, 25 y 30 cm. Con las EUROLOSAS se cubren claros desde 4 m hasta 15 m.

Ventajas:

- Mayor separación entre columnas. El sistema permite distancias entre las columnas de apoyo entre 4 y 15 m.
- El fácil y rápido montaje permite un avance significativo en la construcción de cada piso del edificio con ahorros en tiempo y dinero.
- Ahorro en mano de obra y materiales en el tratamiento de cielos gracias al acabado que trae la superficie de la losa.
- Adicionalmente, los elementos prefabricados pueden ser colocados aun en condiciones climáticas adversas, cumpliendo con el cronograma planeado.
- Se puede hacer el diseño de colocación de torones de acuerdo con las necesidades constructivas, para no tener problemas con las instalaciones mecánicas y desfogue de aguas.

Desventajas:

- Los módulos se fabrican con una contraflecha que debe bajar con el peso de la estructura, sin embargo, muchas veces esta contraflecha baja diferente para cada módulo y por esto se debe invertir mucho trabajo en emparejar estos desniveles en el entrepiso y el cielo si es expuesto.

Análisis del proceso constructivo del sistema de losas pretensadas

Las losas prefabricadas se colocan sobre vigas prefabricadas y, estas a su vez, se sientan sobre unos "Dientes" que se dejan en las columnas. Una vez colocado el entrepiso se coloca el acero de refuerzo y se cola una pequeña capa de concreto dependiendo del diseño estructural.

El montaje en sitio se desarrolla sin mayores obstáculos mediante la utilización de una grúa móvil o torre. Existe poco impacto en el sitio de construcción y los sitios adyacentes a éste, ya que todo los elementos vienen listos para la colocación.

Los edificios prefabricados, por su naturaleza, presentan un ahorro significativo de los tiempos

de construcción con respecto a los sistemas tradicionales de edificios de concreto reforzado colado en sitio, ya que el proyecto se da en dos frentes de trabajo mientras avanza el montaje en el lugar del proyecto, el proceso de fabricación en planta se está dando, de manera tal una vez que se tenga preparado el terreno para iniciar la obra, una cantidad importante de piezas ya se encuentran listas, fabricadas y almacenadas.

El Sistema de losas pretensadas mantiene el sitio de obra más limpio y eliminan los trabajos constructivos en obra, al permitir mejoras en logística y seguridad.

La limpieza y el orden que resulta de este proceso son vitales en campos o zonas de alta densidad urbana, en donde los negocios adyacentes mantienen y continúan con normalidad sus actividades cotidianas

Sistema constructivo Entrepiso Pretensado

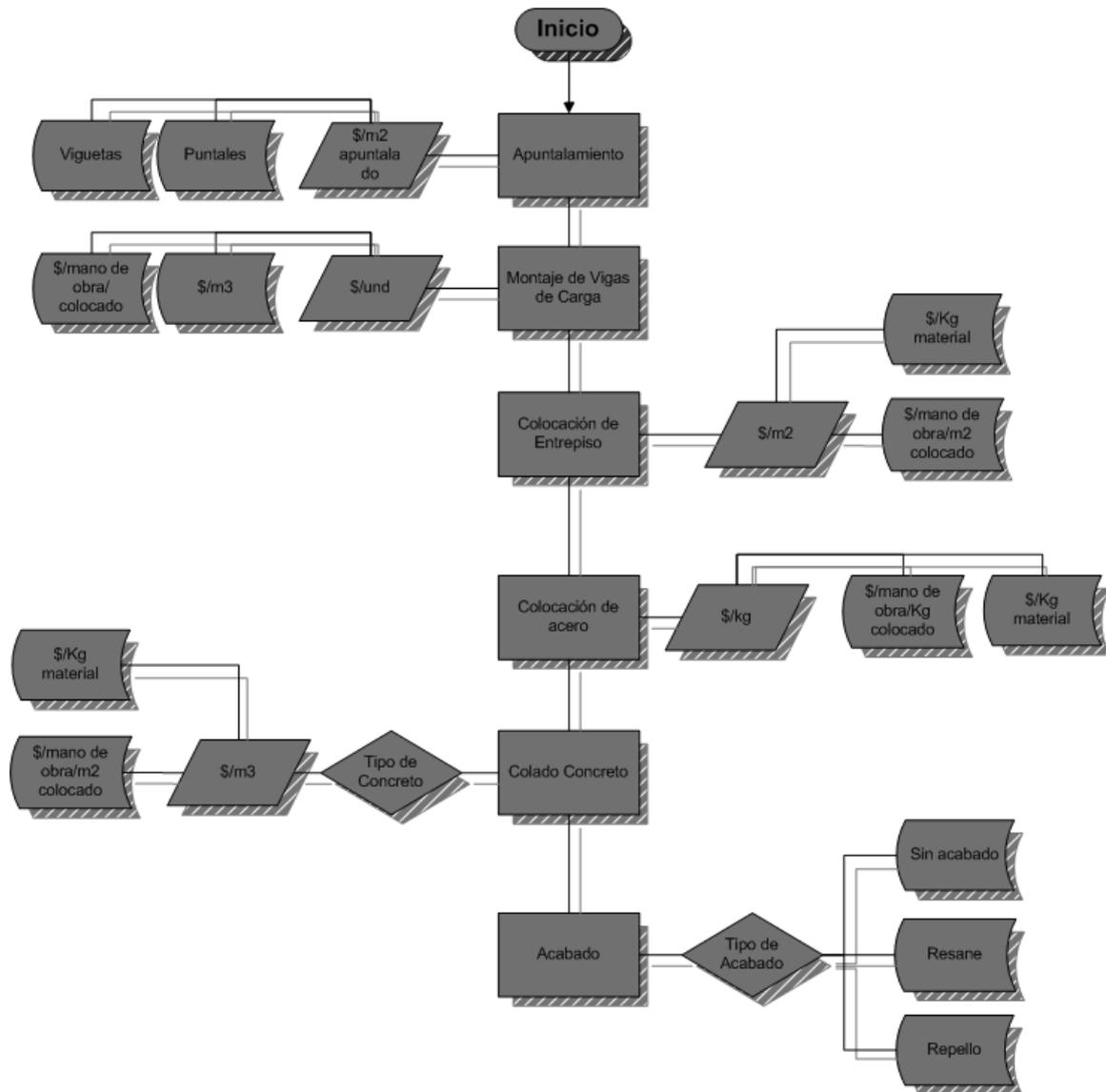


Figura 7. Diagrama de proceso constructivo de Entrepiso Pretensado. Del Autor, formato .vsd

Apuntalamiento en losas pretensadas

Para el sistema de entrepiso multitubular, el apuntalamiento se da directamente en las vigas

de amarre y las vigas de carga. Los puntales se colocan directamente sobre las vigas, por lo tanto no llevan viguetas o alfajillas.

Para la viga de carga los puntales se colocan cada 0,3metros mientras tanto en las vigas de

carga se colocan cada metro. En el siguiente diagrama se muestra el detalle.

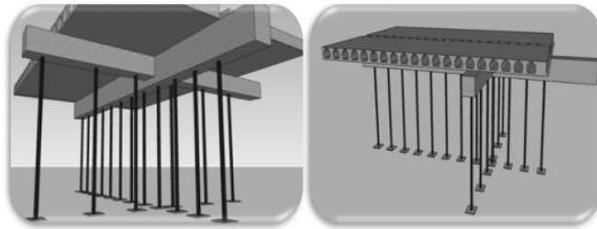


Figura 8. Vista en 3d de la colocación de puntales para el sistema de losas pretensadas. Del autor

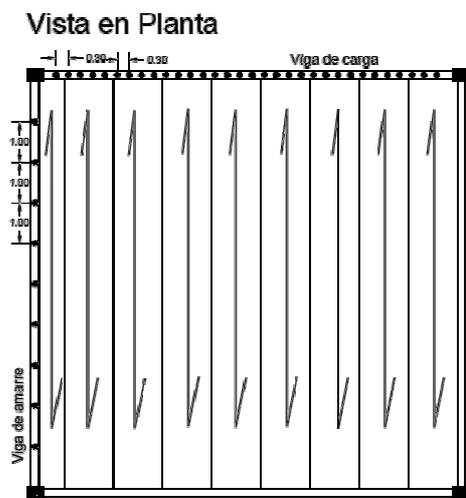


Figura 9. Vista en planta de la colocación de puntales para el sistema de losas pretensadas. Del autor

Los puntales se mantienen hasta el tercer nivel, de construcción, al igual que la losa colada en sitio, en otras palabras asegurar más que no vaya a fallar una viga por no haber alcanzado la

resistencia. Para la remoción de puntales realizan pruebas de laboratorio en donde se mide la resistencia, una vez alcanzada la resistencia $f'c$: 210kg/cm² se quitan los puntales del primer nivel y se continúa avanzando con el 4to nivel.

A continuación se presenta el análisis de cantidad de material necesario para el apuntalamiento en el sistema de losas pretensadas.

CUADRO 1. CALCULO DE PUNTALES POR ML DE VIGA	
Elemento	Cantidad por ml
Puntales-Viga de amarre	4,4
Puntales-Viga de carga	2

Análisis estructural del sistema de losas pretensadas

El comportamiento estructural de las EUROLOSA ha sido evaluado con los criterios del Código Sísmico de Costa Rica y las normas del A.C.I. (Instituto Americano del Concreto de sus siglas en inglés), al cumplir la satisfacción con los requerimientos solicitados.

Análisis de tiempos de grúa para el sistema entrepiso prefabricado

A continuación se presenta el diagrama flujo en el cual se representa el tiempo de la grúa para el sistema constructivo de entrepiso pretensado.

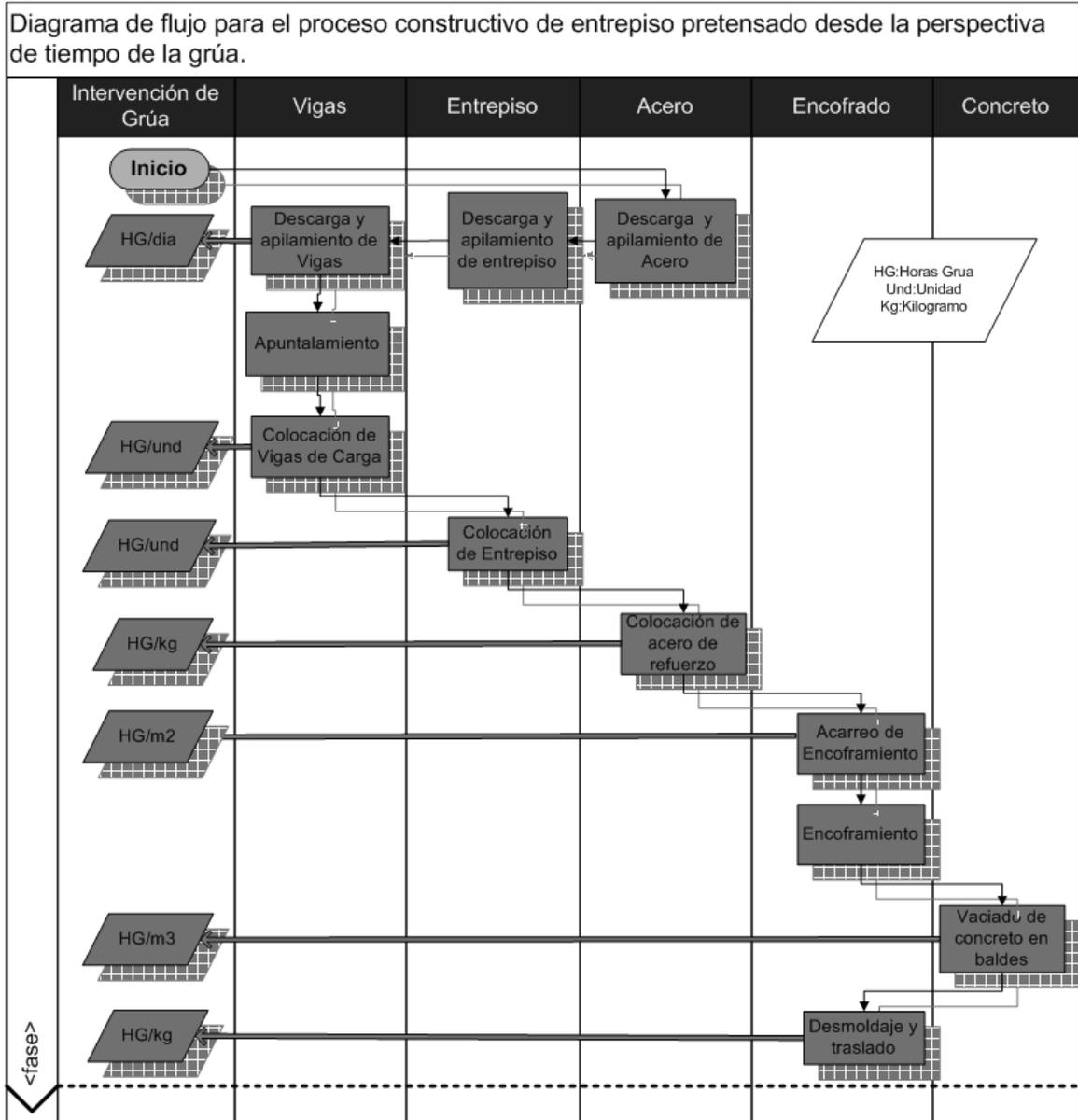


Figura 10. Diagrama de funcionamiento de la grúa para el sistema constructivo entrepisos Pretensados. Del Autor, formato .vsd

Análisis de acabado del sistema de losas pretensadas

En el caso de los cielos, la losa no proporciona un acabado uniforme, por lo tanto se debe corregir si se quisiera dejar un expuesto.

Entrepisos de Losas Prefabricadas

La tendencia en la construcción es optimizar los procesos constructivos en tiempo y economía, por esto la industria de prefabricados se ha

convertido en una opción muy atractiva en las fechas actuales.

La prefabricación es una de forma de acelerar masivamente la construcción de edificaciones, para resolver un problema de tiempo en el proceso constructivo, pero la producción de materiales alternativos y los sistemas de bajo costo aun están en proceso de mejoras.

La marca Tilo ha propuesto un sistema viable para el uso de sistemas constructivos prefabricados en edificaciones. A continuación, se presenta una investigación de sobre el sistema constructivo de elementos prefabricados pretensados HT transportes, más conocido como sistema Tilo (nombre referente a su productor).

El sistema Tilo consiste en losa prefabricada de concreto armado ($f'c$ 280kg/cm²) con aditivos súper plastificantes de 5cm de espesor conocido como "galleta". Esta galleta lleva embebido una estructura de acero, la cual se integrará al concreto de la colada posterior con la galleta. El sistema puede ser diseñado para peraltes totales entre 12cm y 30cm.

El sistema Tilo maneja una longitud dada acuerdo con la luz y modulación de 2.40m m máximo.

El peso de la estructura es de 120kg/m² lo que da como resultado un sistema de entrecimpo liviano, fácil y rápido de construir y con un ahorro importante de material el cual beneficia principalmente en dos aspectos el proyecto, primeramente el uso eficiente de los materiales, generando menos desperdicios; el segundo se relaciona con el aligeramiento total de la estructura que genera elementos estructurales principales menos exigidos.

Ventajas:

- Diseñada y fabricada a medida, variable en su forma geométrica.
- Con perforaciones según plano para ductos mecánicos y cajas de luz empotrados.
- No se requiere cielo falso, gana altura de espacio interior
- Reducción del tiempo y costo de edificación.
- Reducción de tiempos muertos (no productivos) de los trabajadores
- Incrementa productibilidad de los costos de construcción.

- Reduce el costo del encofrado, su colocación, traslado y almacenamiento.
- Mayor calidad del fondo del entrecimpo, no requiere repello ni pulido.
- Permite el trabajo nocturno de la grúa.

Análisis del proceso constructivo del sistema de losas prefabricadas

El diseñador de Tilo toma el entrecimpo y lo modula de acuerdo con el diseño arquitectónico y con luces máximas de 2.4m. Es por esto que cada diseño de entrecimpo se fabrica a la medida, por lo tanto es único y variable en su forma geométrica.

Las losas van apoyadas in situ sobre las vigas y puntales, por lo tanto es un sistema de apoyo sencillo, sin necesidad de accesorios o herramientas especiales.

Una vez que la losa es apoyada y asegurada se completa el acero del diseño. Este sistema se une con las vertebras que vienen embebidas en la galleta.

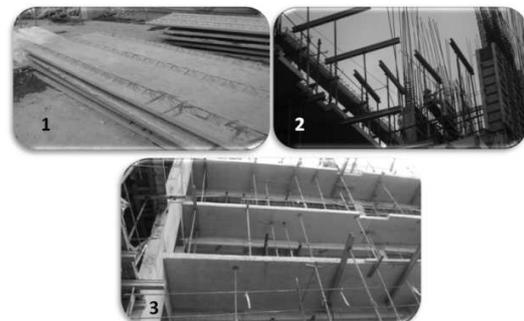


Figura 11. (1) Apilamiento de prelosas (2) Apuntado para prelosas (3) Colocación de prelosa y ajuste de puntales.

Posteriormente, se instalan o se dejan las previstas para las instalaciones electromecánicas las cuales haya que hacer con perforaciones según planos para ductos mecánicos y cajas de luz empotrados.

Este sistema tiene una superficie inferior completamente lisa la cual tiene como ventaja que queda como acabado final y no necesita formaleta. Mientras tanto la superficie superior es en extremo rugosa, al garantizar así la unión con el concreto vaciado en la obra.

Sistema constructivo Entrepiso Tilo

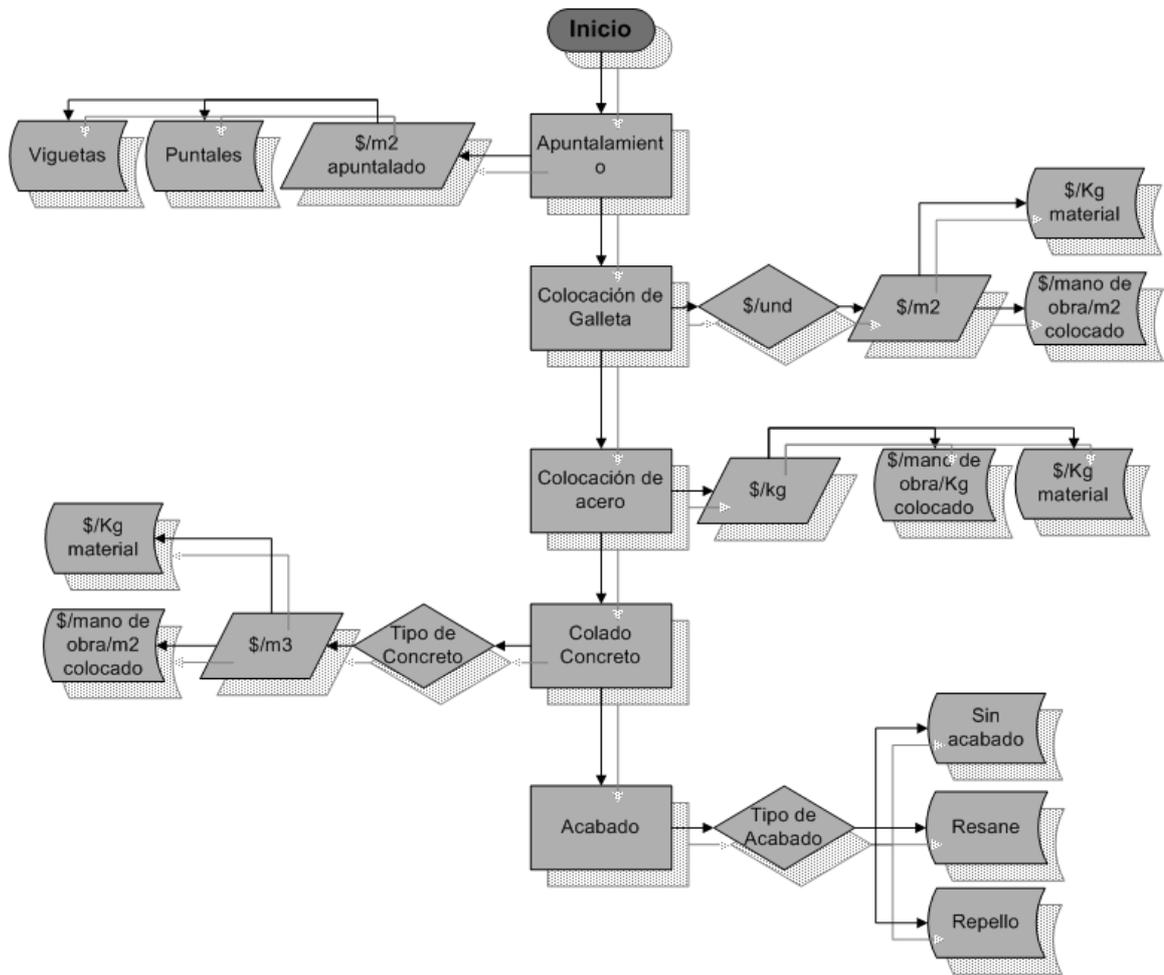


Figura 12. Diagrama de proceso constructivo entresijos prefabricados. Del Autor, formato .vsd

Análisis estructural del sistema de losas prefabricadas

Para el caso del diseño estructural de este sistema, la empresa proporciona un diseño tanto de la "galleta" como del acero que va sobre la misma y que, posteriormente, se colará para formar un elemento monolítico. Este diseño se realiza de acuerdo con la resistencia de los materiales, los esfuerzos y límites de funcionalidad aplicables, producto de un análisis

estructural, de tal manera que la estructura final sea segura y capaz de soportar todas las condiciones de servicio consideradas o idealizadas en el modelo usado. Este diseño es revisado y aprobado por la Empresa Consultora Estructural.

Análisis de apuntalamiento

Las losas Tilo se diseñan para luces máximas de 2,4 metros. Por lo tanto, el entrepiso se divide en pequeños “paños”. De igual forma, el apuntalamiento se recomienda por sectores. Para cada paño de tilo se recomiendan 2 viguetas, apuntaladas a cada 1,5 metros, las cuales son instaladas antes de la colocación de la pieza y se ajustan una vez colocada la galleta. Gráficamente, el apuntalamiento se da de la siguiente manera.



Figura 13. Colocación de puntales y formaleta para la colocación de la losa tilo. Del Autor

Análisis de tiempos de grúa para el sistema entrepiso prefabricado

A continuación se presenta el análisis de cantidad de material necesario para el apuntalamiento en el sistema de losas Tilo.

CUADRO 2. CALCULO DE PUNTALES POR UNIDAD DE PAÑO	
Elemento	Cantidad
Puntales	6
Vigueta	2

A continuación se presenta el diagrama flujo en el cual se representa el tiempo de la grúa para el sistema constructivo de entrepiso prefabricado

Ventajas:

- Se adapta a las condiciones geométricas arquitectónicas.
- Con perforaciones según plano para ductos mecánicos y cajas de luz empotrados

Desventajas

- Cuadrillas grandes para el encofrado.
- Tiene un proceso de desformateo complicado que además, debe esperar 7 días.
- Gran cantidad de puntales y de viguetas.
- Se tienen que mantener al menos 2 pisos apuntalados por debajo del piso que se está colando.
- El entrepiso requiere repello
- Incurrir en grandes inversiones por el encofrado.

Análisis del proceso constructivo del sistema de losas Coladas en Sitio

El proceso inicia con los planos estructurales los cuales serán la guía del maestro de obras a cargo del proyecto, este será guiado, a su vez, por el ingeniero encargado de obra, el maestro delegará las funciones a cada operario estos empiezan haciendo las armaduras necesarias para que soporten la estructura del edificio desde el piso, columnas y vigas que conformarán cada entrepiso como tal.

El proceso para el entrepiso, al igual que el resto de elementos colados en sitio, se resume en formaleta, armadura, previstas electromecánicas, ajuste de formaleta y colado del elemento, para posteriormente ser desencofrado.



Figura 15. (1) Apuntalamiento (2) Colocación del Plywood (3) Colocación de Armadura.

Para el sistema de entrepiso colado en sitio, ha resultado conveniente prefabricar las vigas en un área aparte del proyecto, asignada especialmente para esta tarea.

Este proceso debe tener ciertas consideraciones principalmente el tiempo dado para que alcance la rigidez necesaria. Este tiempo debe ser aproximadamente de una semana en la cual el concreto adquirirá una dureza óptima para que la viga sea colocada en su lugar, la cual una vez lista, es transportada por la grúa desde el lugar de secado hasta el nivel en donde se colocará la misma, aquí será soldada y se le colocarán las formaletas conocidas como taponos los cuales unirán las vigas entre sí junto con el entrepiso que será colado posteriormente.



Figura 16. Proceso de fabricación de vigas prefabricadas Edificar.

Una vez que se llega a este punto del ciclo de proceso de entrepiso se repite para el siguiente nivel.

Sistema constructivo Entrepiso Colado en Sitio

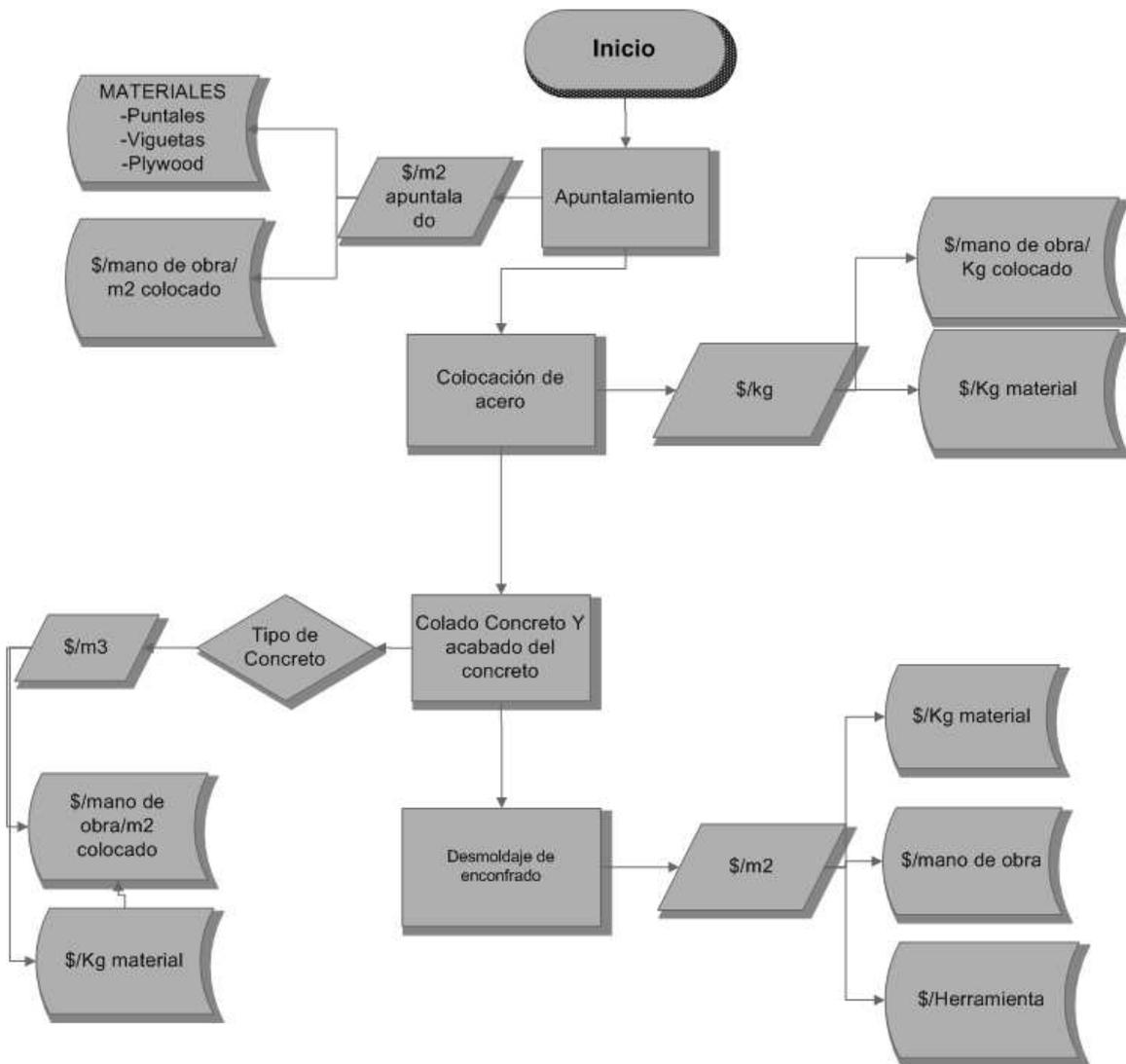


Figura 16. Diagrama de proceso constructivo entrecimso Colados en sitio. Del Autor, formato .vsd

Formaleta en losas coladas en sitio

La formaleta utilizada para entrecimso debe cumplir con requerimientos de resistencia, tamaños y acabados. Según la experiencia de la empresa la formaleta con más uso para entrecimso por reunir esas características es la Orma.

Por el peso de esta estructura provisional, la cantidad de puntales y viguetas son elementos críticos y de vital importancia. Estos elementos se diseñan y se les da cierto tiempo, dependiendo de la resistencia del concreto para removerlos de hasta 22 días, cuando el concreto alcanza el fraguado necesario.

Análisis de apuntalamiento

Para el apuntalamiento de entrepiso colado en sitio, se considera tanto la formaleta como el apuntalamiento los cuales deben asegurar que se respeten los siguientes factores:

- Estabilidad: ensamblaje estable para evitar el pandeo.
- Resistencia: capacidad de resistir las cargas con garantía de seguridad.
- Rigidez: indeformable a la acción de las caras.
- Uniformidad: hermética y uniformidad en las formas y superficies
- Apariencia

El apuntalamiento de entrepisos colados en sitio se conforma por medio de 4 elementos, a saber:

1. Puntales Telescópicos: Los puntales son apoyos metálicos que transmiten la carga a la superficie resistente sobre la cual está apoyada. Los puntales telescópicos de acero regulables se clasifican de acuerdo con su resistencia característica nominal y su longitud de extensión máxima. Sus longitudes varían entre 1 y 6 metros.
2. Viga madre: La viga madre es una viga, generalmente de aluminio sobre la cual se apoyan los puntales.
3. Cadenillo: es una viga secundaria apoyada sobre la viga madre y sobre ella se colocará el *plywood* que servirá de formaleta.
4. Soporte lateral de puntales: Los puntales deben tener un soporte lateral para evitar que se pandeen y se desestabilice la estructura. Por cada puntal de apoyo debe haber 2 puntales de arriostre.

Para el sistema de entrepiso colado en sitio la recomendación de espaciamientos son los siguientes:

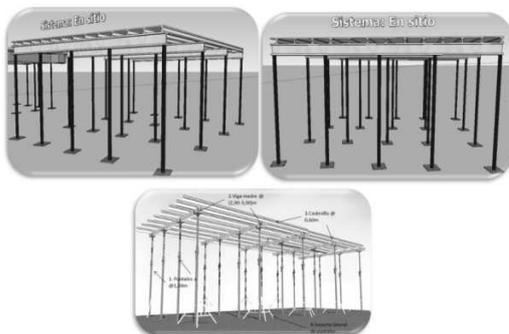


Figura 17. Recomendación de separación de puntales y vigas para formaleta. Del autor

Remoción de formaleta y puntales

Para la remoción de formaleta se debe tener en consideración la resistencia que tiene el concreto del entrepiso, el cual debe ser mayor de 210 kg/cm², en el caso de los puntales, se debe dejar por cierto tiempo arriostrado ya que el concreto no ha alcanzado su resistencia máxima.

La recomendación es mantener los dos niveles anteriores apuntalados para soportar la carga, mientras el concreto de los entrepisos desarrolla la resistencia total.

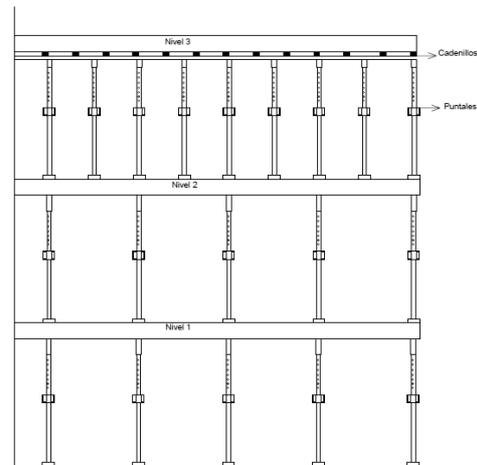


Figura 18. Colocación y remoción de puntales. Del autor

Cuantificación de materiales para el apuntalamiento

De acuerdo con la distribución anterior, los puntales que se tienen en proyecto deben ser suficientes para al menos 3 niveles, los cuales estarán en uso por nivel al menos 6 semanas y una más en proyecto para revisión.

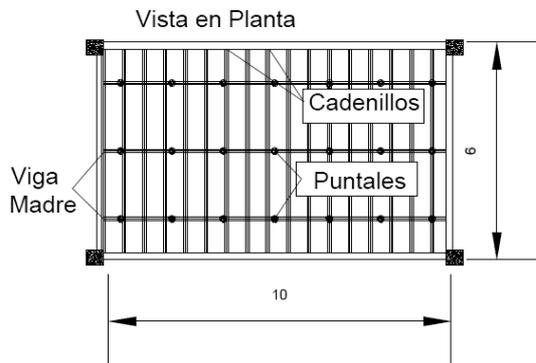


Figura 19. Vista en planta de la colocación de puntales. Del autor

Las cantidades por metro cuadrado se cuantifican en la siguiente tabla referida a la figura anterior.

CUADRO 3. CALCULO DE PUNTALES Y VIGUETAS POR m ²			
Elemento	Cantidad (60m ²)	Unidades	Cantidad por m ²
Puntales	21	und	0,35
Viga madre	30	ml	0,5
Cadenillo	96	ml	1,6

Análisis de tiempos de grúa para el sistema de losas Coladas en Sitio

A continuación se presenta el diagrama flujo en el cual se representa el tiempo de la grúa para el sistema constructivo de entrepiso colado en sitio.

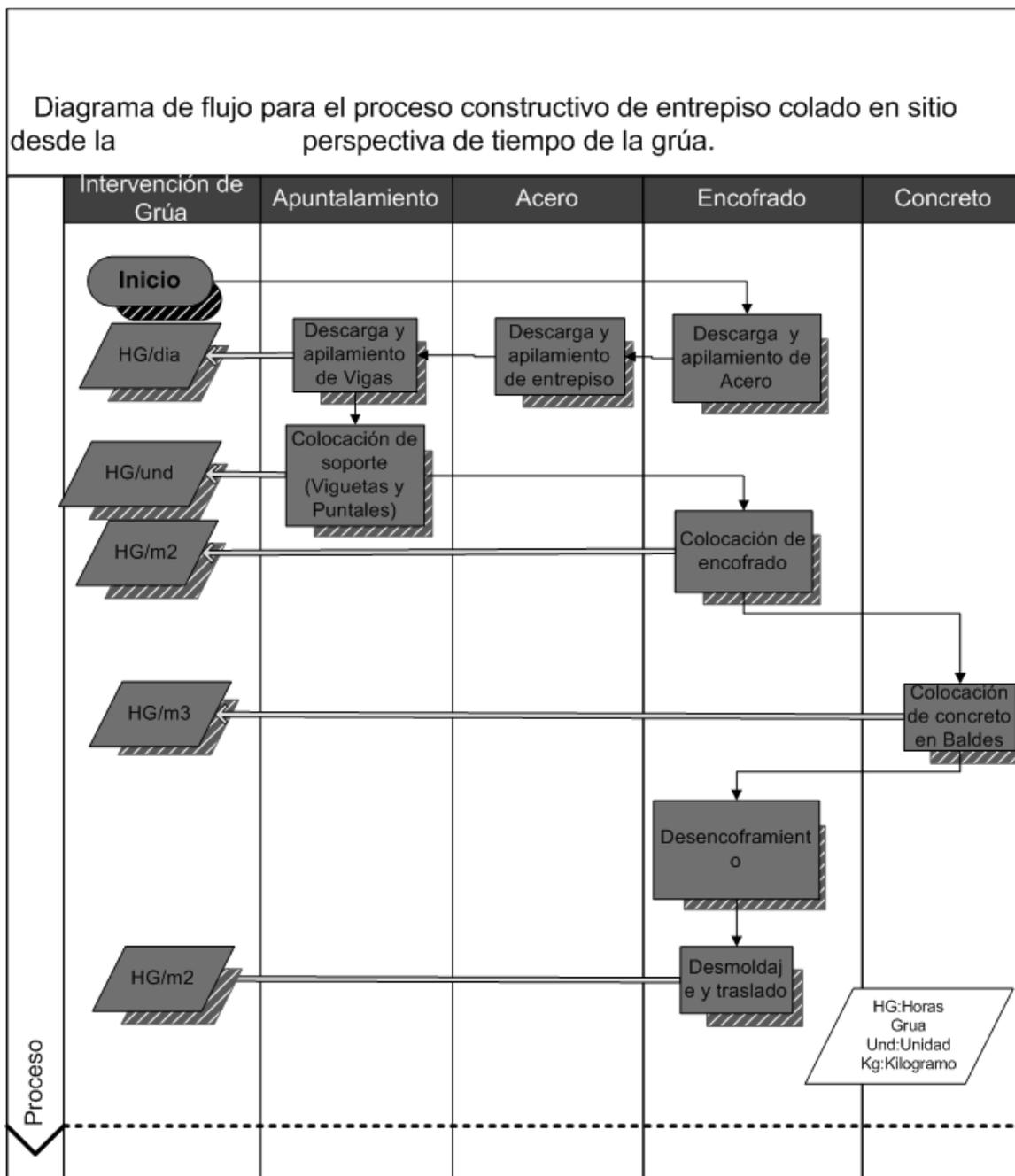


Figura 20. Diagrama de funcionamiento de la grúa para el sistema constructivo entrepisos Colados en sitio. Del Autor, formato .vsd

Análisis de acabado del sistema de losas Coladas en Sitio

Al igual que el resto de los elementos colados en sitio, para el caso del entrepiso, el acabado

dependerá de la correcta utilización del encofrado. En el mejor de los casos, solo se debe hacer un resane sobre la superficie, pero si la superficie quedó muy irregular, se debe incurrir en gastos extra de reparaciones y repellos para lograr buenas superficies de acabado final.

Planificación y estudio de mano de obra e insumos

El análisis inicial del contexto en donde se realizará el proyecto, es importante a la hora de definir los gastos del mismo, ya que no es lo mismo hacer un proyecto en el gran área metropolitana, que en otro sector alejado, donde no se cuenta con los mismos recursos de mano de obra y de materiales.

Para el caso de la mano de obra se define si es posible encontrarla cerca de los alrededores, sino esto conllevaría a un sobre costo, en el traslado del personal, hospedaje y alimentación. Por cada hombre que se debe trasladar, alimentar y hospedar, se tiene un sobre costo de \$20,00 dólares diarios.

Para el caso de los materiales, se debe definir en donde va a ser su fuente de abastecimiento. Para tomar en consideración los tiempos de transporte y

si fuera en un lugar alejado, si el costo de transporte tuviera un cambio significativo. El costo de traslado de material a un lugar alejado tiene un sobreprecio de 10% en el precio final del producto.

Para la correcta realización del proyecto es necesario espacio para instalaciones provisionales las cuales son: oficinas, baños, bodegas, lugares de almacenaje. Estos espacios son importantes porque de no existir la logística de desalmacenaje de materiales sería diferente y requeriría mucho orden.

A continuación se revisan los principales puntos que deben ser analizados para tomar en consideración posibles sobre costos en el proyecto.

CUADRO 4. CONSIDERACIONES DE PLANIFICACIÓN DE LA OBRA QUE INCIDEN ECONÓMICAMENTE	
Variable	Consideración
Materiales	Ubicación de fuente de materiales
Mano de Obra	Mano de obra local o trasladada
Ubicación de Oficinas de Obras, baños, bodegas	Verificación del espacio necesario
Ubicación de grúas	Análisis del mejor lugar de colocación y si es posible la instalación de más de una grúa.

Evaluación técnica y económica de un proyecto

Para recomendar o evaluar un posible cambio en un proyecto, el evaluador se enfrenta con dos viabilidades principales para investigar, entendiendo por viabilidad la posibilidad o conveniencia de realizar un proyecto: la viabilidad técnica y la viabilidad económica. Estas viabilidades van ligadas a la variable tiempo.

La variable tiempo, la define el cliente y puede ser negociada de acuerdo con el contexto en cual se desarrolle el proyecto.

Al igual que en la viabilidad técnica, la variable tiempo viene ligada al tema económico, pues siempre se busca que la inversión empiece a producir en el menor tiempo posible.

La viabilidad técnica

La viabilidad estructural, que siempre debe establecerse con la ayuda de los ingenieros especializados en la materia, determina si es posible física o materialmente hacer un proyecto. Tal tarea corresponde a dichos especialistas y no puede ser asumida por el evaluador económico del proyecto, sin embargo, al conocer las características de los posibles sistemas constructivos, en conjunto con la experiencia, podría ser la base para proponer alternativas constructivas beneficiosas para la construcción en tiempo o costo.

La viabilidad económica

Se define en el estudio de la viabilidad económica, mediante la comparación de los beneficios y costos estimados de un proyecto, si es recomendable su implementación y posterior operación.

Se reconocen tres etapas o niveles en los cuales se clasifican los estudios de acuerdo con su profundidad y con la calidad y cantidad de información utilizada, al ser la última de tales

etapas la de factibilidad. En este punto centraremos este capítulo, en nuestro intento de clarificar los conceptos, técnicas y metodologías acerca de la formulación y evaluación de proyectos.

Evaluación de ingenierías de valor para un proyecto

El estudio de un proyecto pretende responder a una idea que busca, ya sea la solución de un problema o la forma, para aprovechar mejor los recursos los cuales se tienen para el proyecto. Un análisis preliminar de la situación permitirá un juicio, también preliminar, de la posibilidad de concretar la idea en una acción.

Es usual, entre inversionistas e incluso evaluadores de proyectos, estudiar una iniciativa de inversión definida previamente, sin considerar la posibilidad de que exista una mejor solución, por lo cual es fundamental en esta etapa identificar posibles opciones de solución, tomando en consideración que se debe hacer, por parte de un analista con experiencia, el cual tiene como tarea la optimización del uso de los recursos de los inversionistas.

La evaluación de cada uno de los posibles sistemas constructivos de acuerdo con las características del proyecto posibilitará elegir la más conveniente para el inversionista o la sociedad.

Para definir si un sistema se fabricará en muros o columnas, dependerá del diseño arquitectónico, por otra parte la escogencia del entrepiso si se analizará de acuerdo con las distribuciones que se tienen, claros máximos, peraltes, acabado además de las consideraciones de tiempo.

A continuación se presenta un cuadro comparativo con las limitaciones de cada sistema constructivo de entrepisos.

CUADRO 5. COMPARATIVA ENTRE LAS LIMITACIONES CONSTRUCTIVAS DE LOS ENTREPIOS ESTUDIADOS			
Variable	Eurolosa	Tilo	Colado en sitio
Peraltes	15, 20, 25, 30	entre 12 y 30	Requerido
Luces	de 4m hasta 15m	2,4m máximo	Requerido
Acabado cielo	Diferencias entre módulos por confraclecha	Losa con buen acabado, no requiere repellos	Depende de la buena colocación de la formaleta
Módulos	1.2mxL	2,4mxL	requeridos

CUADRO 6. COMPARATIVA DE ENTREPIOS ESTUDIADOS				
Tipo	Detalle	Costo Losa	Detalle	Costo Viga
<i>Losa colada en sitio</i>	Losa monolítica F'c=350 kg/cm ² , Área: 1m ²	\$ 56,39	Viga 3ml (0,4x0,4m) F'c=280 kg/cm ²	\$ 67,20
<i>Losa de Eurolosa</i>	Losa multitubular (10cm)+losa en concreto F'c=350 kg/cm ³ Área: 1m ²	\$ 68,39	Viga 3ml (0,4x0,4m) F'c=600 kg/cm ³	\$ 528,00
<i>Losa Tilo</i>	Losa tilo (5cm) +losa en concreto F'c=350 kg/cm ³ Área: 1m ²	\$ 83,37	Viga 3ml (0,4x0,4m) F'c=280 kg/cm ⁴	\$ 67,20

Análisis de valor de mano de obra en función del precio de los materiales

El uso de los diferentes sistemas constructivos desde el punto de vista económico difiere mucho en costos si se compara el gasto de mano de obra intensiva en sistemas estructurales trabajados en sitio contra inversión de materiales en elementos prefabricados.

En este trabajo se presenta un estudio comparativo de tres alternativas de construcción de entrepisos. El primero, el sistema tradicional de construcción, que usa mano de obra intensiva, el sistema de losas multitubulares y vigas y el tercer sistema es el sistema de losas prefabricadas.

Para comprender mejor el impacto que tiene la mano de obra y el precio de los materiales en los diferentes sistemas constructivos, se cita el siguiente ejemplo de la viga prefabricada Eurobau y la viga prefabricada por Edificar:

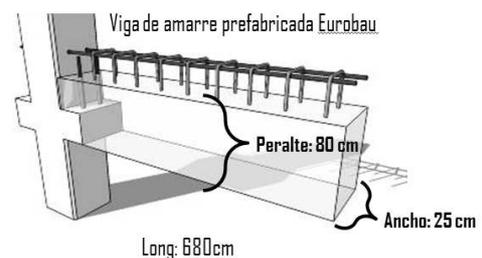


Figura 21. Ejemplo de viga de amarre en el proyecto F-30.Formato Sketchup

CUADRO 7. COMPARATIVA DE PRECIOS ENTRE MANO DE OBRA Y MATERIALES PARA VIGAS PREFABRICADAS EUROBAU				
Variable	Precio unitario (\$)	Unidad	Cantidad	Precio
Viga de amarre 600kg/cm2	\$ 1.100,00	\$/m3	1,36	\$ 1.496,00
Mano de obra para la colocación	\$ 2,35	\$/hh	3,00	\$ 7,05

CUADRO 8. COMPARATIVA DE PRECIOS MANO DE OBRA Y MATERIALES PARA VIGAS PREFABRICADAS EDIFICAR (350KG/M²)						
Variable		Precio unitario (\$)	Unidad	Cantidad	Precio	Precio/variable
MATERIALES	Concreto 350 kg/cm2	\$ 160,00	\$/m3	1,36	\$ 217,60	\$ 302,75
	Formaleta de Vigas Prefa	\$ 5,00	hh/m2	17,03	\$ 85,15	
MANO DE OBRA	Colocación de formaleta de Vigas Prefa	\$ 2,35	hh/m2	17,03	\$ 40,02	\$ 64,91
	Apuntalamiento Vigas Prefa		hh/ml	4,69	\$ 11,03	
	Colocación de Concreto		hh/m3	1,58	\$ 3,71	
	Montaje Viga Prefa		hh/und	4,32	\$ 10,15	

En los cuadros anteriores, se compara entre el precio de mano de obra y el precio de los materiales. Para el caso de la viga prefabricada de Edificar el precio es una cuarta parte del valor de la viga prefabricada de Eurobau.

La diferencia de precio entre una viga prefabricada Eurobau y la fabricada por Edificar difiere en debido a varios factores. El primero es debido al tiempo de fabricación y el tiempo en que alcanza la resistencia para soportar las Cargas permanentes para las cuales fue diseñada, como se detalla en el cuadro, la viga Eurobau, se hace con un concreto de resistencia de 600 kg/cm2. Otro de los factores, es que las vigas prefabricadas por Eurobau, son pretensadas, por lo cual alcanza mayor capacidad de carga con peraltes más pequeños,

lo que se traduce en menores volúmenes y por consiguiente menores pesos, los cuales deben ser considerados en la capacidad de carga de la grúa.

Estos factores deben ser analizados haciendo un balance entre presupuesto y tiempos de entrega.

Otro aspecto importante de recalcar, es el precio de la mano de obra para la viga prefabricada de Eurobau, pues el valor es tan bajo que se vuelve casi despreciable, más no así en la viga Edificar, en donde la mano de obra significa un 20% del valor total de la viga.

Proyectos Estudiados

Proyecto Urbano

El proyecto Urbano se encuentra ubicado en Rohrmoser, de la Nunciatura 100 sur, al costado sureste del Parque Peru (Parque de La Nunciatura). Se encuentran al frente del proyecto el Ing. Larry Mora y el Ing. Verny Alfaro.

El proyecto forma parte del programa de la alcaldía de repoblar la ciudad capital impulsado por Johnny Araya desde hace ocho años. El edificio de doce pisos y dos sótanos. Son en total 20 unidades habitacionales. El edificio fue diseñado por el arquitecto Bruno Stagno y se ubica frente al Parque Perú, detrás de la Nunciatura.

Cada piso contará con solo dos apartamentos, los cuales serán diseñados conforme a las necesidades y gustos de cada uno de sus propietarios.



Figura 24. Vista digital del proyecto. Referencia xx.

El sistema constructivo de Urbano se basa en entrepiso colado en sitio, muros encofrados con Orma y Columnas con Symons. También divisiones livianas.

El tiempo de estudio del proyecto fue entre Junio y setiembre del presente año.



Figura 23. Estado del proyecto al finalizar la investigación, setiembre 2011. Del autor.

Proyecto Vistas de Nunciatura

El proyecto Vistas de Nunciatura se encuentra ubicado en la ciudad de San José, específicamente en el barrio Rohrmoser, frente al parque de la Nunciatura, zona destacada por sus abundantes zonas verdes y alta plusvalía.

Al frente del proyecto esta el Ing. José Fonseca por parte del grupo Leumi.



Figura 24. Vista en digital del proyecto. Referencia Grupo Leumi

Dicho proyecto es un complejo de vivienda en condominio, de 18 pisos de altura y dos sótanos de parqueo, emplazados en un lote de 2.630,14 m².



Figura 25. Vista en planta del proyecto. Referencia Grupo Leumi

El proyecto Vistas de Nunciatura, tiene el sistema constructivo de columnas y muros colados en sitio y entrepiso prefabricado Tilo.

El proyecto inicio en marzo del año 2011 y a la fecha tiene un avance del 40% de obra gris. El estudio de este proyecto se hizo de setiembre a inicios de diciembre del año 2011.



Figura 26. Estado del proyecto al finalizar la investigación, Diciembre, 2011. Del autor.

Proyecto F-30

El proyecto F-30 se encuentra ubicado en Zona Franca América, cerca del Mall Cariari en Heredia.

El proyecto inicio a principios del mes de octubre del 2011 y se proyecta la conclusión de la obra gris para enero del 2012.

Al frente del proyecto se encuentran Ing. Carlos Ramirez como gerente y el Ing. Leonardo Brenes. Tiene un área de 2345 m² en la cual se desarrolla el proyecto de 6 pisos. El edificio será para ocupación de oficinas.

El sistema constructivo del edificio consta de columnas, vigas prefabricadas y entrepiso



pretensado de Marca Eurobau.

Figura 27. Perspectiva en digital del edificio acabado. Referencia Edificar



Figura 28. Avance del edificio al finalizar el estudio 40%. Del autor.

Metodología

En este capítulo se define el procedimiento o metodología seguida para la obtención de los objetivos del proyecto.

Se define cual el tipo de investigación realizada, las fuentes de información utilizadas, las técnicas para obtención de información y la forma en cual se procesaron y analizaron los datos para poder al final sintetizar y proponer soluciones o métodos que resuelven el problema o mejorar el proceso de diseño en este caso particular.

Tipo de Investigación

Este proyecto es un proyecto de investigación aplicada. Esto quiere decir que la finalidad del trabajo es la solución a un problema de la empresa, el cual se basa en la mejorara de la competitividad de la empresa mediante un análisis de los principales sistemas constructivos sintetizados en una herramienta que facilite su análisis para diferentes proyectos con el fin de generar valores los cuales ayuden a la toma de decisiones antes del diseño e ingenierías de valor que permitan maximizar y optimizar los recursos del proyecto.

Fuentes de información

Este trabajo tiene dos principales fuentes de información:

Entrevistas a profesionales del ámbito: Se refiere a la consulta del criterio experto de ingenieros de la empresa Edificar, representantes de proveedores y contratistas. Además de la guía del profesor responsable por el presente proyecto.

Material bibliográfico: Esta es la segunda fuente de información pero no menos importante, en donde se clasifican las tesis, revistas e investigaciones consultadas.

Procesamiento y análisis de información

Se inicio con la investigación de las principales características de los sistemas constructivos a analizar. A partir de esto se concluyeron las

principales fortalezas y debilidades de los procesos.

Al mismo tiempo, se trabajaba en la recopilación de rendimientos, tanto de mano de obra como de maquinaria.

Esta información se resumió a diagramas de flujo a partir de los cuales se analizó las bases de la herramienta de análisis.

Rendimientos y consumos de mano de obra

Para la toma de rendimientos se crearon metodologías y controles para el seguimiento de la productividad durante la actividad de entrepisos, muros y columnas, en los tres proyectos a evaluar, a partir del cual, se realiza un registro y así se inicia con la evaluación de productividad del mismo, al momento de ejecutar la actividad y, de esta manera, verificar los recursos utilizados tanto de mano de obra como de maquinaria.

La toma de rendimientos se agrupa en un instructivo para el manejo de información de la obra, al utilizar los formularios y plantillas vigentes que para el proyecto específico. Estos formularios o plantillas deben ser adecuados a cada proyecto y se utilizan de acuerdo con el alcance requerido para obtener y al criterio del Director de Construcción.

Alcance de la toma de rendimientos

Los rendimientos se tomarán en los proyectos en un periodo de mañana antes del medio día de 6 a.m. a 12m.d y tarde después del medio día, 12m.d. a 4:30 p.m. se comprende un tiempo de 10,5 horas diarias pero cuando este incurre en horas extra se anota la hora de salida en la casilla para controlar el tiempo laborado.

Para la toma de estos rendimientos se involucra inicialmente al Gerente de proyecto para poder analizar el proceso y las actividades más adecuadas para la toma de rendimientos de acuerdo al sistema analizado.

Procedimiento de la toma de rendimientos de mano de obra

Las actividades en cada proyecto se establecen prioridades según el cuadro 10 (ver cada cuadro de proyecto en resultados) en la cual mediante un análisis con el Gerente y el ingeniero residente se determina cuales actividades deben ser controladas primordialmente.

El primer formulario que corresponde al cuadro 11 denominado ficha de recolección de datos, se basa en el tiempo de duración en la actividad el cual será respaldado por el tiempo de labor diario según la planilla de Edificar, la cual irá ligada a éste en donde cada encargado de cuadrilla verificará el cumplimiento de este tiempo y así obtener datos reales de cada una de las actividades, de esta manera se controla tiempo del personal y actividad en que se trabaja.

Para el cuerpo del formulario se requiere la actividad, hora y número de casco del personal que laboró en ella, se realiza el levantamiento de la información del mismo y el planillero se encarga de introducir los datos diarios para evaluar según el día, nivel, zona o tiempo estimado para realizarlo.

El encabezado de este documento requiere de fecha, nombre del proyecto y firma del encargado del mismo este como respaldo a la veracidad del documento. Ver anexo 1.

Procedimiento de la toma de rendimientos de Grúa torre

La grúa representa la ruta crítica en el tiempo de construcción de un edificio. El control del rendimiento del equipo empleado.

En el desarrollo del proyecto es tan importante como el control de costos del mismo, por tanto, se hará un estudio de los diferentes factores los cuales influyen en la toma de rendimientos para los diferentes sistemas constructivos.

Para tener un mejor criterio del contenido a tratar es necesario definir los términos que componen el tema central del estudio de la grúa.

Se tiene que el rendimiento de la grúa como el trabajo obtenido del funcionamiento contra el trabajo consumido por la máquina en el proceso.

Para el caso del presente estudio, se analizará el tipo de trabajo de la grúa de acuerdo con sistema constructivo manejado. Esto es importante porque la cantidad y el tipo de trabajo de la grúa va en función del sistema utilizado.

Por esta razón el análisis de la grúa se hará a cada proyecto.

El control de actividades se hará con base en el cuadro 12 la cual tiene actividades específicas para cada sistema.

El control de esta tabla la llevará el operador de la grúa para cada proyecto, al anotar por minutos el tiempo requerido en cada actividad durante la jornada laboral.

La toma de datos se analizará por niveles, es decir, a partir de los resultados se analizarán los resultados obtenidos para generar un análisis de tiempos para cada sistema constructivo de acuerdo con las características del mismo.

Muestreo y descripciones de datos

El resultado de un experimento estadístico puede dar como resultado un valor numérico o una representación descriptiva. Cuando la observación estadística consiste en medir la magnitud de algún parámetro se está hablando de un resultado de valor numérico. Por otra parte, cuando la medición consiste en determinar alguna característica descriptiva, se habla que el resultado de la medición es una representación descriptiva.

Además del tipo de resultado, en una medición estadística la cantidad de mediciones puede ser pequeña, grande pero finito o infinita. Eso dependerá del tipo de fenómeno que se está midiendo.

El total de mediciones, ya sean estas finitas o infinitas, constituyen el concepto llamado *población*.

Formalmente la *población* se define como el total de las observaciones en las que se está interesado.

El número de mediciones en una población se define como el *tamaño*.

Cada una de las mediciones en la población es un valor de una variable aleatoria X , que tiene alguna distribución de probabilidad $f(x)$.

Esa variable aleatoria puede ser de 3 tipos, variable aleatoria binomial, discreta o continua. Un ejemplo del primero tipo es cuando se inspeccionan artículos en una línea de producción en busca de defectos, el resultado posible de esta medición es encontrar defectos o no encontrarlos. Por esto, se le llama variable aleatoria binomial, pues los resultados posibles son 2. En el caso de una variable aleatoria discreta es cuando los posibles resultados de la medición son más de 2 y de igual manera se encuentran predeterminados. El tipo de variable aleatoria continua se obtiene cuando los posibles resultados no son predeterminados, ni limitados en posibilidades.

De tal manera, como se definen las variables aleatorias según sus características, se definen de la misma manera las poblaciones, por lo que

se tienen entonces poblaciones binomiales, discretas y continuas.

Muestreo

En ocasiones al realizar el análisis estadístico de datos, resulta poco práctico o imposible observar todo el conjunto de observaciones que componen la población. Es por esto que se define un subconjunto de observaciones de la población, para a través de este hacer inferencias de la misma población.

Por lo tanto, se define como *muestra* al subconjunto de observaciones de una población.

Si se desean obtener resultados representativos de la realidad de la población, es necesario que la misma muestra sea también adecuadamente representativa de la población.

Para esto se evitan algunas situaciones en la toma de datos:

- Evitar elegir muestras por tener las características deseadas en los resultados.
- Evitar elegir muestras por facilidad en el procedimiento de su medición.

Si no se cumple con esas recomendaciones, se incurren en inferencias erróneas sobre la población. Cuando el muestreo produce inferencias las cuales sobreestiman o subestiman ciertas características de la población, se dice que este está sesgado.

Es por esto que al realizar el muestreo de una población es indispensable que la muestra sea aleatoria en el sentido de que las mediciones se hacen de forma independiente y al azar.

Para lograr que las mediciones de la muestra sean independientes y, a su vez, representativas se debe cumplir con la condición de que el procedimiento de medición sea esencialmente el mismo en cada una. Esto daría como resultado variables independientes y con distribuciones de probabilidad iguales.

Estadísticas del muestreo

El objetivo principal de realizar un muestreo aleatorio en una población, es a partir del mismo obtener información acerca de parámetros desconocidos de la población.

Al realizar las mediciones, se obtiene como resultado valores conformados por las variables aleatorias, estas a su vez como es de esperar varían entre sí. A partir de esta variación se calcula una serie de funciones que permiten hacer inferencias sobre el comportamiento de la población.

Se le llama *estadística* a cualquier función de las variables aleatorias las cuales forman una muestra aleatoria.

Algunas de las estadísticas obtenidas se definen a continuación.

Tendencia central de la muestra

Una de las estadísticas más importantes que se deben calcular de una muestra es la tendencia central.

Las estadísticas que por lo general se utilizan más para medir el centro de un conjunto de datos son la media, la mediana y la moda.

Media

Es la más importante de las 3 estadísticas y se define como:

Si X_1, X_2, \dots, X_n representan una muestra aleatoria de tamaño n , entonces la media de la muestra se define mediante la estadística:

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{n} \dots\dots\dots \text{Ecuación 01}$$

Mediana

La mediana es la segunda estadística más importante, y se define de la siguiente manera:

Si X_1, X_2, \dots, X_n representan una muestra aleatoria de tamaño n , acomodada en orden creciente de magnitud, entonces la mediana de la muestra se define mediante la siguiente estadística:

$$\tilde{X} = X_{(n+1)/2} \quad \text{Si } n \text{ es impar} \dots\dots\dots \text{Ecuación 02}$$

$$\tilde{X} = \frac{X_{n/2} + X_{(n/2)+1}}{2} \quad \text{Si } n \text{ es par} \dots\dots\dots \text{Ecuación 03}$$

Moda

La última estadística utilizada para medir el centro de una muestra aleatoria es la moda, y se define de la siguiente manera:

Si X_1, X_2, \dots, X_n representan una muestra aleatoria de tamaño n , entonces la Moda (M) es aquel valor de la muestra que ocurre más a menudo o con la mayor frecuencia. La moda puede no existir y cuando lo hace no es necesariamente única.

Variabilidad de la muestra

Obtener los valores de tendencia central de la muestra no es información suficiente para tener una descripción adecuada de los datos.

Esto porque tienen 2 poblaciones con valores de media, mediana o moda iguales, pero con variabilidades distintas, lo cual hace que no sean equivalentes.

Las estadísticas más importantes para medir la variabilidad de una muestra son el rango y la varianza.

Rango

Se define como:

El rango de una muestra aleatoria X_1, X_2, \dots, X_n se define con la estadística $X_{(n)} - X_{(1)}$, donde $X_{(n)}$ y $X_{(1)}$ son, respectivamente las observaciones más grande y más pequeña de la muestra.

Dependiendo del tamaño de la muestra, el rango puede ser una medida poco importante en la variabilidad, pues si la muestra es muy grande, el rango dará un conjunto de datos de variabilidad muy grande y poco intuitivo.

Sin embargo la utilidad del rango se encuentra cuando se tienen valores predeterminados de rango en los resultados de una medición y se puede entonces comprobar que esos resultados se ubiquen dentro del rango.

Varianza de la muestra

Se define como:

Si X_1, X_2, \dots, X_n representa una muestra aleatoria de tamaño n , entonces la varianza de la muestra se define con la estadística:

$$S^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n-1} \dots \dots \dots \text{Ecuación 04}$$

La varianza de la muestra considera la posición de cada una de las mediciones con respecto a la media de la muestra.

Metodología para la comparación de diferentes métodos constructivos

Para comparar estos dos sistemas constructivos se llevaron a cabo los siguientes pasos:

1. Se llevó a cabo la investigación y recopilación de los diferentes procesos constructivos.
2. Para obtener los costos de los recursos se recopiló la información, de costos directos de operación para los sistemas constructivos.
3. De dicho trabajo se recopiló los esquemas de trabajo y recursos necesarios para llevar a cabo los sistemas constructivos

4. Se simuló los métodos constructivos, programando los modelos producidos en el primer paso, para obtener la duración en jornales de construcción de losas, para ambos procesos constructivos.
5. Se realizó un análisis de precios unitarios por losa construida por ambos procesos constructivos.

Manual de usuario de herramienta de diseño

La herramienta "Comparativa de productividad de sistemas constructivos para un piso típico" pretende abarcar las principales actividades constructivas que se dan durante la obra gris. Esto con el fin de tener un estudio comparativo tanto de mano de obra como de materiales y tiempos utilizados en el desarrollo de un mismo entrepiso para tres tipos diferentes de entrepiso.

Este manual mostrará la utilidad de la aplicación en un caso específico de ingeniería civil, y cómo utilizar los componentes que contiene y su funcionamiento.

Es importante antes y/o durante la utilización del programa consultar este manual con el fin de ser guiado en los resultados que el mismo arroja y tener una correcta interpretación de estos.

Conocimientos mínimos para usar la herramienta

El usuario de la herramienta de diseño debe tener conocimientos mínimos en:

- Microsoft Excel

Partes del programa

La interface principal del programa está contenida en la hoja nombrada "Hoja inicial". En esta hoja se debe incluir la información solicitada.

Además contiene botones que refieren a hojas complementarias, donde se muestran Bases de datos de rendimientos y precios que pueden ser modificadas por el usuario.

Las celdas en las que el usuario debe incluir información solicitada están marcadas en color blanco, con el fin de que se puedan distinguir adecuadamente. Además, estas son las únicas en las que el usuario tiene opción de elegir en la hoja de cálculo.

Datos necesarios para usar la herramienta

Los datos que sean supuestos deben ser con una persona con criterio y experiencia constructiva. Estos son principalmente a la hora de suponer la cantidad de losas y la dirección de las mismas en caso que no existiera el diseño estructural.

Es importante recalcar que este programa analizaría solo el nivel típico de un edificio, por lo que se debe tomar en consideración que no se están incluyendo tiempos de fundaciones, sótanos, nivel principal o azoteas.

El programa considera hasta 4 frentes de trabajo y se definen en instrucción 5.

Antes de iniciar el programa, se necesita una cantidad de datos que deben ser tomados de los planos estructurales y es necesario que se tengan tabulados como el ejemplo siguiente, de forma que sea claro y fácil el ingreso de datos del usuario.

Cuadro 25. Datos de entrada para el programa Colado en sitio				
Elemento	Peso acero/unidad	Tipo de formaleta	% de concreto con Grúa	Dimensiones (m)
Columna	Kg/ml	Ormao	%	Dimensiones (m)x h (m)
Viga	Kg/ml	Symonso	%	Dimensiones (m)x l (m)
Muro	Kg/ml	Madera	%	Espesor (m) x l (m)
Entrepiso Colado en sitio	Kg/m2		%	Área (m) >>por cada sub-área

Cuadro 26. Datos de entrada para el programa Multitubular y Tilo			
Elemento	Peso acero/unidad	% de concreto con Grúa	Dimensiones (m)
Entrepiso Multitubular	Kg/m2	%	Área (m) >>por cada sub-área
Vigas Eurobau	-	-	mlx und
Entrepiso Tilo	Kg/m2	%	Área (m) >>por cada sub-área

1. **Hoja inicial.** En esta hoja ubica al usuario para iniciar el proyecto. A partir de este punto se puede revisar y modificar precios y rendimientos.



Figura 32. Hoja inicial del programa. Del autor.

2. **Datos iniciales del proyecto.** En este punto el proyecto se empieza a caracterizar, empezando por tipos datos básicos, además de definir subcontratos y tipos de concreto, formaleta entre otros.

Figura 33. Hoja de datos básicos del proyecto. Del autor.

3. **Determinación de sistemas constructivos a analizar.** En esta etapa se definen los sistemas que se van a comparar.

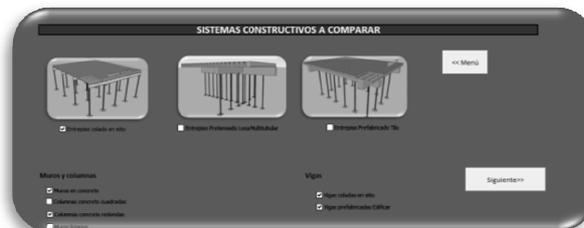


Figura 33. Hoja de datos básicos del proyecto. Del autor.

4. **Caracterización de elementos estructurales.** En esta etapa los elementos estructurales se definen con los datos de entrada definidos anteriormente.

ENTREPISO					
Cantidad de TIPO DE AREAS: 7					
	TIPO DE CONCRETO	Espesor (m)	h (m)	l (m)	kg/m2
Área 1	T20.2	0,15	10	5	15
Área 2	T20.2	0,15	7	5	15
Área 3	T20.2	0,25	5	5	25
Área 4					
Área 5					
Área 6					
Área 7					

Figura 34. Hoja de caracterización de elementos estructurales. Del autor.

5. **Definición de elementos por áreas de trabajo.** En esta etapa se define la cantidad de elementos por área de trabajo.

Las áreas de trabajo serán los frentes de trabajo de cada sistema. Por lo general se divide en 2 o 3 secciones de trabajo.



Figura 35. Ejemplo de frentes de trabajo.

Figura 36. Datos de elementos estructurales por área de trabajo.

6. partir de esta información se obtienen cantidades y tiempos de rendimientos que irán a una tabla final y se analizarán al final.

Figura 37. Rendimientos que se analizarán por área de trabajo.

7. A partir de estos datos se obtienen los siguientes resultados.

a. Precios de materiales

Figura 38. Tabla de cantidades de materiales. Del autor.

b. Precios de mano de obra

Figura 39. Tabla de cantidades de mano de obra. Del autor.

8. Tiempos con los traslapes de cada área de trabajo.

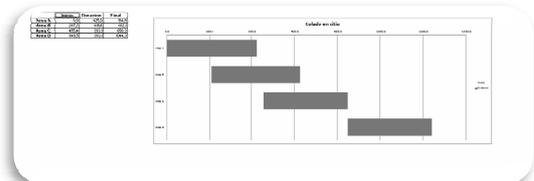


Figura 40. Traslapes que dan la duración del entrepiso.

Resultados

Comparativa en tiempos de grúa para diferentes tipos de entrepiso

prefabricados como para entrepiso colado en sitio. En los cuadros está implícito el tiempo gastado en el sistema constructivo para los muros y columnas.

A continuación se presentan los cuadros de tiempos de grúa tanto para entrepisos

CUADRO 13. TIEMPOS DE GRUA PARA ENTREPISO PREFABRICADO PRETENSADO		
Actividad	Duración en horas	% de Tiempo de trabajo
Acarreo de armadura	1845	10,9%
Acarreo de concreto	2890	17,1%
Montaje de prefabricado(entrepiso)	3123	18,5%
Montaje de vigas prefabricadas	1100	6,5%
Tiempo muerto	1350	8,0%
Acarreo y colocación de formaleta	6555	38,9%
Total	16863	

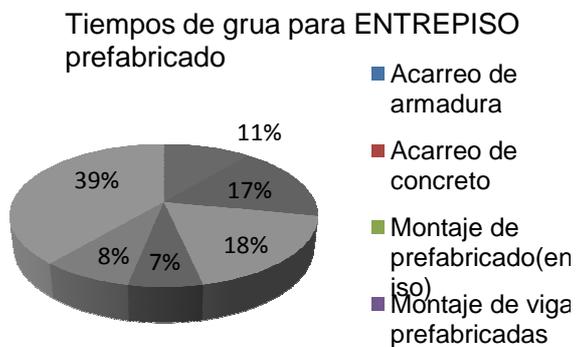


Figura 29. Diagrama de tiempos de grúa para entrepiso prefabricado. Del autor. Formato xls.

CUADRO 14. TIEMPOS DE GRÚA PARA ENTREPISO COLADO EN SITIO		
Actividad	Duración en horas	% de Tiempo de trabajo
Acarreo de armadura	993	4,0%
Acarreo de concreto	5815	23,3%
Tiempo muerto (descanso+espera+mantenimiento)	3359	13,5%
Acarreo de Formaleta Orma	4155	16,7%
Colocación de balcones	5610	22,5%
Otras tareas	4975	20,0%
Total	24907	

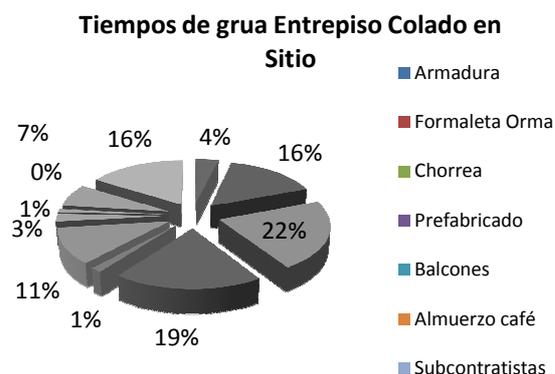


Figura 30. Diagrama de tiempos de grúa para entrecimso colado en sitio. Del autor. Formato xls.

A continuación se detallan los tiempos de grúa utilizados en el proyecto Vistas de Nunciatura.

CUADRO 15. TIEMPOS DE GRÚA PARA ENTREPISO PREFABRICADO TILO		
Actividad	Duración en horas	% de Tiempo de trabajo
Acarreo de armadura	1763	9%
Acarreo y colocación de formaleta	7678	38%
Acarreo de concreto	3605	18%
Montaje de prefabricado(entrepiso)	3948	20%
Montaje de vigas prefabricadas	1505	7%
Descanso (café+almuerzo)	1130	6%
Espera de chompipa	120	1%
Mantenimiento	0	0%
Otras tareas	415	2%
	20164	

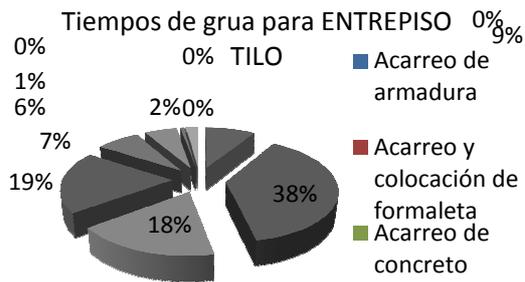


Figura 31. Diagrama de tiempos de grúa para entrepiso prefabricado Tilo. Del autor. Formato xls.

Comparativa económica de los sistemas constructivos entrepisos estudiados

A continuación se presentan los valores obtenidos para los sistemas constructivos

estudiados. En estos se hace una comparación de precios para un metro cuadrado con los 3 sistemas constructivos.

CUADRO 16. COSTOS ESTADÍSTICOS PARA LA LOSA TRADICIONAL PARA 1 M ² DE 15 CM DE ESPESOR	
Etapas	Costo promedio
Apuntalamiento (puntales+viguetas+plywood 3/4)	\$ 24,23
Mano de obra de apuntalamiento	\$ 1,62
Concreto 280 kg/m ²	\$ 21,00
Armadura(suponiendo malla No.3 @20cm)	\$ 6,88
Colocación de armadura	\$ 1,87
Mano de obra para la Colocación de concreto	\$ 0,80
Costo/Losa	\$ 56,39
Viga 3ml (0,4x0,4m) F'c=280 kg/cm ²	\$ 67,20

CUADRO 17. COSTOS ESTADÍSTICOS PARA LA LOSA PREFABRICADA EURO LOSA EN 1 m² DE 15 CM DE ESPESOR

Etapas	Costo promedio
Costo de venta de piezas EURO LOSA	\$ 42,00
Apuntalamiento (puntales+viguetas)	\$ 8,23
Mano de obra de apuntalamiento	\$ 1,62
Concreto 280 kg/m ²	\$ 7,00
Armadura(suponiendo malla No.3 @20cm)	\$ 6,88
Colocación de armadura	\$ 1,87
Mano de obra para la Colocación de concreto	\$ 0,80
Costo/Losa	\$ 68,39
Viga 3ml (0,4x0,4m) F'c=600 kg/cm ³	\$ 528,00

CUADRO 18. COSTOS ESTADÍSTICOS PARA LA LOSA PREFABRICADA TILO

Etapas	Costo promedio
Costo de venta de piezas TILO	\$ 45,00
Apuntalamiento (puntales+viguetas)	\$ 8,23
Mano de obra de apuntalamiento	\$ 6,60
Concreto 280 kg/m ²	\$ 14,00
Armadura(suponiendo malla No.3 @20cm)	\$ 6,88
Colocación de armadura	\$ 1,87
Mano de obra para la Colocación de concreto	\$ 0,80
Viga 3ml (0,4x0,4m) F'c=280 kg/cm ²	\$ 67,20
Costo/Losa	\$ 83,37

CUADRO 19. TABLA RESUMEN DE COSTOS ESTADÍSTICOS PARA LA LOSA PREFABRICADA EN 1 m² DE 15 CM DE ESPESOR Y VIGA

Tipo	Detalle	Costo Losa	Detalle	Costo Viga
<i>Losa colada en sitio</i>	Losa monolítica F'c=350 kg/cm ² , Área: 1m ²	\$ 56,39	<i>Viga 3ml (0,4x0,4m)</i> F'c=280 kg/cm ²	\$ 67,20
<i>Losa de Eurolosa</i>	Losa multitubular (10cm)+losa en concreto F'c=350 kg/cm ³ Área: 1m ²	\$ 68,39	<i>Viga 3ml (0,4x0,4m)</i> F'c=600 kg/cm ³	\$ 528,00
<i>Losa Tilo</i>	Losa tilo (5cm) +losa en concreto F'c=350 kg/cm ³ Área: 1m ²	\$ 83,37	<i>Viga 3ml (0,4x0,4m)</i> F'c=280 kg/cm ⁴	\$ 67,20

Rendimientos Mano de obra

CUADRO 20. RENDIMIENTOS DE MANO DE OBRA DE ACUERDO CON LOS RESULTADOS DE LOS PROYECTOS ESTUDIADOS

Actividad		Rendimientos	Total	Unidades	
RENDIMIENTOS M.O. COLADO EN SITIO	Apuntalamiento de entrepiso	Apuntalamiento Entrepiso	1,06	2,81	hh/m ²
		Desarme Entrepiso	0,41		
		Formaleta Entrepiso	0,84		
		Formaleta Cortes de Entrepiso	0,50		
	Apuntalamiento de balcones	Apuntalamiento de balcones	14,50	14,50	hh/m ²
Concreto Entrepiso	Concreto Entrepiso	0,34	0,34	hh/m ³	
RENDIMIENTOS M.O. TILO	Apuntalamiento de entrepiso	Apuntalamiento de cadenillo	0,69	0,69	hh/ml
		Formaleta Cortes de Entrepiso	0,50	0,50	hh/m ²
	Montaje de entrepiso	Montaje de entrepiso	1,10	1,10	hh/und
	Colocación de armadura		0,10	0,10	hh/kg
	Concreto Entrepiso	Concreto Entrepiso	0,34	0,34	hh/m ³
RENDIMIENTOS M.O. PRETENSADO	Apuntalamiento de entrepiso	Apuntalamiento DE VIGAS de carga	0,69	0,69	hh/MI
		Apuntalamiento DE VIGAS de amarre	0,35	0,35	hh/ml
		Formaleta Cortes de Entrepiso	0,50	0,50	hh/m ²
	Colocación de armadura		0,10	0,10	hh/kg
	Montaje de vigas pretensadas	Montaje de entrepiso	1,00	1,00	hh/und
	Concreto Entrepiso	Concreto Entrepiso	0,34	0,34	hh/m ³

continuación de cuadro 20					
RENDIMIENTOS M.O. MUROS	Apuntalamiento	Apuntamiento de muros	0,20	0,20	hh/m2
	Trazado	Trazado de muros	0,08	0,08	hh/ml
		Colocación de acero	0,10	0,10	hh/kg
	Colocación de formaleta Orma	Collar de Madera Orma	0,31	3,29	hh/m2
		Formaleta Muro Orma Externo	1,82		
		Formaleta Desarme Orma	0,36		
		Formaleta Tapones Orma	0,30		
		Formaleta Desarme Tapones Entrepiso	0,50		
	Colocación de formaleta symons	Formaleta Columnas	5,24	5,24	hh/m2
		Formaleta Columnas MADERA	4,50	4,50	hh/m2
Concreto Muros	Concreto Muros	1,26	1,26	hh/m3	
RENDIMIENTOS M.O. COLUMNAS	Trazado	Trazado de columnas	0,08	0,08	hh/ml
	Apuntalamiento	Apuntamiento de columnas	0,40	0,40	hh/und
	Colocación de armadura		0,14	0,14	hh/kg
	Colocación de formaleta	Formaleta Columnas SYMONS	5,24	5,24	hh/m2
		Formaleta Columnas ORMA	3,29	3,29	hh/m2
		Formaleta Columnas MADERA	4,50	4,50	hh/m2
	Concreto Columnas	Concreto Columnas	1,23	1,23	hh/m3
RENDIMIENTOS M.O. VIGAS	Apuntalamiento vigas	Apuntalamiento Vigas Prefa	0,69	1,31	hh/ml
		Desarme Puntales y Vigas	0,62		
	Vigas prefabricadas	Formaleta de Vigas Prefa	1,31	1,31	hh/m2
		Concreto Vigas Prefa	1,16	1,16	hh/m3
		Montaje Viga Prefa	4,32	4,32	hh/und

Rendimientos de grúa

CUADRO 21. RENDIMIENTOS DE LA GRÚA EVALUADOS POR DÍA						
		No.mov /día	Rendimient o/mov	Rendimiento(min)/día	Rendimient o(horas)/día	Unidades
GAST OS DIARIOS	Descarga y apilamiento de materiales	4,33	10,00	43,30	0,72	HG/día
	Descanso y almuerzo			45,00	0,75	HG/día
	Otros (contratistas)			15,00	0,25	HG/día

Lista de precios

CUADRO 22. PRECIO POR UNIDAD PARA LAS DIFERENTES ACTIVIDADES EVALUADAS				
Actividad	Sub-actividad	Detalle	Precio	Unidad
Apuntalamiento	Materiales	Puntales	\$ 2,60	Precio/und/mes
Apuntalamiento	Materiales	Viguetas	\$ 12,70	Precio/und/mes
Apuntalamiento	Mano de obra		\$ 2,10	Precio/h
Colocación de vigas prefabricadas	Materiales	Vigas AMARRE	\$ 1.100,00	Precio/m3
Colocación de vigas prefabricadas	Materiales	Vigas CARGA	\$ 1.500,00	Precio/m4
Colocación de entrepiso prefabricado	Materiales	Losas	\$ 42,00	Precio/m3
Colocación de prefabricado	Mano de obra		\$ 2,10	Precio/h
Colocación de Armadura	Materiales	Amarre	\$ 1,25	Precio/kg amarre
Colocación de Armadura	Mano de obra		\$ 0,30	Precio/kg instalado
Colocación de formaleta	Materiales	Symons	\$ 12,00	Precio/m2/mes
Colocación de formaleta	Materiales	Orma	\$ 15,00	Precio/m2/mes
Colocación de formaleta	Materiales	Madera	\$ 3,00	Precio/m2/uso
Colocación de formaleta	Materiales	Desmoldante	\$ 0,90	Precio/m2/mes
Entrepiso Multitubular	Materiales	Entrepiso	\$ 42,00	Precio/m2
Entrepiso Multitubular	Materiales	Vigas de amarre	\$ 1.100,00	Precio/m3
Entrepiso Multitubular	Materiales	Vigas de Carga	\$ 1.500,00	Precio/m3
Entrepiso Tilo	Materiales	Losa	\$ 45,00	Precio/m2
Colocación de acero	Mano de obra		\$ 0,30	Precio/kg colocado
Colocación de concreto	Materiales	TIPO 1	\$ -	Precio/m3
Colocación de concreto	Materiales	TIPO 2	\$ -	Precio/m3
Colocación de concreto	Materiales	TIPO 3	\$ -	Precio/m3
Colocación de concreto	Materiales	TIPO 4	\$ -	Precio/m3
Colocación de concreto	Materiales	TIPO 5	\$ -	Precio/m3
Colocación de concreto	Mano de obra con acabado		\$ 2,10	Precio/h

CUADRO 23. RENDIMIENTOS DE LA GRÚA EVALUADOS POR HORAS				
		Rendimiento (min)/und	Rendimiento (horas)/und	Unidades
RENDIMIENTOS GRÚA COLADO EN SITIO	Colocación de Concreto	7,78	0,13	HG/m3
RENDIMIENTOS GRÚA TILO	Colocación de entrepiso Tilo	12,50	0,21	HG/und
	Colocación de Concreto	7,78	0,13	HG/m3
RENDIMIENTOS GRÚA PRETENSADO	Colocación de entrepiso	12,50	0,21	HG/und
	Colocación de Concreto	7,78	0,13	HG/m3
RENDIMIENTOS GRÚA MUROS	Colocación de formaleta muros	2,75	0,05	HG/m2
	Colocación de Concreto	7,78	0,13	HG/m3
	Desmolde formaleta	1,50	0,03	HG/m2
RENDIMIENTOS GRÚA COLUMNAS	Colocación de Concreto	7,78	0,13	HG/m3
	Colocación de formaleta columnas	10,00	0,17	HG/und
	Desmolde formaleta	1,50	0,03	HG/m2
RENDIMIENTOS GRÚA VIGAS PREFA	Colocación de vigas prefa	35,00	0,58	HG/und

Apuntalamiento según el sistema constructivo

CUADRO 24. CÁLCULO DE APUNTALAMIENTO SEGÚN LA INVESTIGACIÓN			
Elemento	Unidad	Cantidad	
Columna	Und/columna	4	
Muro	und/m2 muro	1	
Vigas	und/ml viga	1,5	
Entrepiso colado en sitio	Cadenillos	ml/m2 entrepiso	1,6
	Vigas madre	ml/m2 entrepiso	0,35
	Puntales	Und/m2 entrepiso	0,5
	Playwood	m2 PW/m2 entrepiso	1
Entrepiso Tilo	Cadenillos	ml/und entrepiso	18
	Puntales	Und/und entrepiso	9
Entrepiso Lpretensado Losa Multitubular	Puntales	Und/ml viga	4,4

Análisis de los resultados

Análisis de procesos constructivos prefabricados y colados in situ

En la presente investigación, los sistemas constructivos han sido estudiados técnico-económicamente, comparando la relación entre sus insumos y los costos.

De las dos etapas de investigación del proyecto de graduación –recopilación de datos y análisis de los mismos- el diseño de la recogida de información es especialmente crucial. Es frecuente que un análisis simple de unos datos en un ensayo bien diseñado, de resultados importantes.

Para el caso de la presente investigación, durante aproximadamente 6 meses se estudiaron tres proyectos con sistemas constructivos diferentes, en los cuales se aprovechó la experiencia de los Gerentes de proyecto, residentes y maestros de obra como base de investigación. Este proceso fue importante para definir y conocer los procesos de cada uno de los sistemas constructivos estudiados.

En la actualidad los países desarrollados se han inclinado a la tendencia de los procesos constructivos ligados a la prefabricación como una medida de un desarrollo más tecnológico, industrializado y sustentable para la construcción. Esto se debe principalmente a que el empleo de esta técnica constructiva representa grandes ahorros, ventajas y beneficios tanto para las empresas constructoras, como para los clientes, la sociedad y el medio ambiente.

Por otra parte, así como hay factores que apoyan el empleo de la técnica de prefabricación como un método constructivo de múltiples beneficios, también existen una serie de factores que pueden afectar el uso de sistemas de concreto prefabricado. Estos son principalmente los niveles de estandarización, el nivel de experiencia de las empresas constructoras, los problemas que puedan surgir durante el montaje, las políticas de la empresa y el nivel de

comunicación entre las partes involucradas en la construcción.

Los sistemas constructivos prefabricados son mayores en precio que el sistema tradicional, por valores considerables, sin embargo, se deben ver de manera global todas las ventajas y desventajas citadas anteriormente que estos sistemas tienen entre ellos, para poder valorar si realmente el valor es justificable.

Primeramente, analizando el sistema constructivo tradicional, el costo principal se da en mano de obra y formaleta, por lo tanto depende de la mano de obra para que el trabajo se desarrolle correctamente.

Para el caso de las losas Eurobau, el precio de los materiales es mucho mayor a tal punto que se hace insignificante el gasto por mano de obra.

Otra de las características tiene este sistema es la limpieza y rapidez. Además, desde el punto de vista de empresa, Eurobau, es una empresa consolidada y con equipos de alta tecnología que da la confianza de la calidad del producto.

El prefabricado Tilo, es un sistema de HT Betontransportes el cual tiene un costo de aproximadamente \$30 más que el método constructivo tradicional, este sistema tiene de ventaja que asegura un buen acabado, elimina casi por completo la formaleta y ofrece buenos tiempos de producción. Además es una excelente alternativa para elementos en voladizo y de difícil arquitectura.

Una de las desventajas de la empresa es que la empresa HT Betontransportes, es que la planta de producción no cuenta con las medidas más óptimas de fabricación y esto podría afectar los niveles de estandarización.

Otro punto en desventaja, es por experiencia de la empresa Edificar, la cual ha reportado deficiencia en tiempos de entrega y esto se puede traducir en problemas que puedan surgir durante el montaje, las políticas de la

empresa y el nivel de comunicación entre las partes involucradas en la construcción

Lo que es obvio de notar es la gran ventaja que el método prefabricado es más económico en cuestión de tiempo, por encima del método tradicional. Sin embargo, esta economía en tiempo no se traduce en una economía en costo, sobre todo en la CR, donde es mucho más barato el uso de mano de obra.

Por lo anteriormente descrito, para comparar a estos dos sistemas de construcción, se hace necesario conocer cuál es su comportamiento a nivel de construcción masiva, partiendo de la hipótesis de que si el volumen de construcción de viviendas es grande, deberá de existir un punto de equilibrio entre ambos procesos constructivos, donde uno de ellos será más económico que el otro en términos monetarios.

Análisis de valor de mano de obra en función del precio de los materiales

El uso de los diferentes sistemas constructivos desde el punto de vista económico difiere mucho en costos si se compara el gasto de mano de obra intensiva en sistemas estructurales trabajados en sitio contra inversión de materiales en elementos prefabricados.

En este trabajo se presenta un estudio comparativo de tres alternativas de construcción de entresijos. El primero, el sistema tradicional de construcción, que usa mano de obra intensiva, el sistema de losas multitubulares y vigas prefabricadas y el tercer sistema es el sistema de losas prefabricadas.

Para comprender mejor el impacto que tiene la mano de obra y el precio de los materiales en los diferentes sistemas constructivos, se cita el ejemplo de la viga prefabricada Eurobau y la viga prefabricada por Edificar en la figura 21.

En los cuadros 7 y 8, se hace una comparación entre el precio de mano de obra y el precio de los materiales. Para el caso de la viga prefabricada de Edificar el precio es una cuarta parte del valor de la viga prefabricada de Eurobau.

La diferencia de precio entre una viga prefabricada Eurobau y la fabricada por Edificar difiere en debido a varios factores. El primero es debido al tiempo de fabricación y el tiempo en que alcanza la resistencia para poder soportar las

Cargas permanentes para las cuales fue diseñada, como se detalla en el cuadro, la viga Eurobau, se hace con un concreto de resistencia de 600 kg/cm². Otro de los factores, es que las vigas prefabricadas por Eurobau, son pretensadas, por lo que permite alcanzar mayor capacidad de carga con peraltes más pequeños, lo que se ve traducido en menores volúmenes y por consiguiente menores pesos, los cuales deben ser considerados en la capacidad de carga de la grúa.

Otro aspecto importante de recalcar, es el precio de la mano de obra para la viga prefabricada de Eurobau, ya que el valor es tan bajo que se vuelve casi despreciable, más no así en la viga Edificar, donde la mano de obra significa un 20% del valor total de la viga.

Análisis del uso de grúa para los diferentes sistemas

De acuerdo a los proyectos estudiados la grúa tiene al día en promedio 4,33 movimientos que le genera un gasto de tiempo de 0,72 HG/día, estos movimientos son principalmente para descarga de material y apilamiento del mismo. Mientras que otros trabajos como descanso, almuerzo y colaboración con subcontratistas tiene un tiempo de 1,0 HG/día. Esto le da un tiempo no aprovechable en sus tareas principales a la grúa de 105 min al día.

De acuerdo a los gráficos 1, 2 y 3, de los resultados se observa que en el caso de los entresijos prefabricados (Eurobau y Tilo) los tiempos de grúa se concentran en el entresijo. Convirtiendo esta tarea de entresijo para la grúa en la tarea crítica para la grúa. Para el caso de la colocación de vigas y entresijo prefabricado, el tiempo que se utiliza la grúa es de un 25% del tiempo, más un porcentaje de acarreo de armadura y colocación de concreto, donde la bomba no puede alcanzar.

Para el caso del entresijo colado en sitio las únicas actividades ligadas al entresijo y las cuales no son exclusivas del mismo son el acarreo de concreto y el acarreo de armadura. Es importante recalcar que para este tipo de entresijo la grúa no es un elemento crítico para el entresijo, pero el panorama cambia si las paredes son en concreto reforzado, ya que la grúa tendría la tarea de instalar los paneles de la formaleta. Por lo general, se le da a la grúa una

labor principal, ya sea con colocación de entrepisos o con colocación de formaleta en paredes, por lo que es primordial estudiar y definir

la posibilidad de una segunda grúa en caso que existieran 2 tareas principales.

Conclusiones

Mediante el proceso del proyecto de Graduación, se lograron los objetivos principales que fueron determinar los parámetros en costos, avance de la obra y limitaciones estructurales durante la etapa de diseño o en el proceso constructivo y a partir de esta base de datos desarrollar un método de comparación, evaluación y análisis que permita seleccionar el sistema constructivo que ofrezca mayores bondades competitivas, basándose en criterios ingenieriles.

El análisis de resultados no se hubiera desarrollado de manera satisfactoria sin el apoyo del marco teórico y del análisis de rendimientos que se hicieron en los tres proyectos visitados durante el proceso, que fue como una guía para crearlo de acuerdo a las necesidades de la empresa y factores que deben tomarse en cuenta.

A través de esta investigación se ha logrado determinar los rendimientos de grúa para las diferentes tareas que realiza de acuerdo al sistema constructivo.

También se logró determinar los rendimientos de mano de obra para las principales labores del proceso constructivo. Estos rendimientos fueron evaluados por diferentes personas por lo que es el principal factor de error en la toma de los datos.

Otra de las posibles fuentes de error fue la cantidad de datos confiables que se lograron obtener, ya que los proyectos no tenían el mismo grado de avance, por lo que algunos no se evaluaron durante todo el proceso.

También se investigó sobre los precios que maneja la empresa para determinar costos de los diferentes procesos. Estos precios se

llevaron a una base de datos la cual es flexible para ser modificada por el usuario en el programa comparativo.

Una vez que se tiene obtuvo la información anterior se integraron los conceptos y criterios de valoración en una herramienta, para la determinación de los costos por m², el elemento que define la ruta crítica e identificar los parámetros en costos, avance de la obra y limitaciones estructurales durante la etapa de diseño o en el proceso constructivo para la evaluación de ingenierías de valor.

Conclusiones Entrepiso colado en sitio

Para el sistema constructivo tradicional, depende principalmente de mano de obra y formaleta, por lo que estos rubros son los principales en considerar en el presupuesto y calidad.

Por ser un sistema donde se maneja la mayor parte del trabajo en la construcción, se generan gran cantidad de desperdicios de materia prima, como madera.

Conclusiones Entrepiso Multitubular

El entrepiso multitubular se caracteriza por ser un sistema limpio y con bajo desperdicio de materiales, esto representa grandes ahorros, ventajas y beneficios tanto para las empresas constructoras, como para los clientes, la sociedad y el medio ambiente.

El costo del entrepiso multitubular tiene un valor de poco más de \$ 10 sobre el costo del sistema tradicional. Sin embargo, el sistema completo con vigas prefabricadas tiene un costo de hasta 80% monetariamente hablando.

El sistema de entrepiso multitubular puede reducir en un 40% el tiempo de avance del

sistema colado en sitio para el ejemplo del proyecto Aloft.

De acuerdo a la experiencia de la empresa Edificar con la empresa Eurobau, se ha mantenido muy buena comunicación y se han cumplido todas las expectativas de tiempos de entrega y calidad.

Conclusiones Entrepiso Tilo

El prefabricado Tilo de HT Betontransportes tiene un costo de aproximadamente \$30 más que el método constructivo tradicional.

Tilo tiene las ventajas constructivas siguientes: que asegura un buen acabado, elimina casi por completo la formaleta y ofrece buenos tiempos de producción. Además es una excelente alternativa para elementos en voladizo y de difícil arquitectura.

Los niveles de estandarización, de la empresa HT Betontransportes están regulados por pruebas de laboratorio. Sin embargo, la planta de producción no posee las características óptimas para la producción por lo que podría afectar la calidad del producto final y los niveles de estandarización.

El desarrollo del proceso de producción e instalación de las losas con la empresa HT Betontransportes ha tenido algunas trabas, por experiencia de Edificar, que se ha traducido en los problemas a la hora del montaje, las políticas de la empresa y el nivel de comunicación entre las partes involucradas en la construcción.

Conclusiones Comparación de entrepiso

Con base en el estudio técnico-económico entre sistemas, comparando la relación entre sus insumos, mano de obra y tiempos de grúa. En lo que se refiere al costo directo se observó que el método prefabricado (considerando Tilo y Multitubular en esta clasificación) es mayor que el método tradicional, sin embargo, el sistema prefabricado es capaz de ajustar y adaptar su precio de venta en la planta, en función de un volumen determinado de obra.

Lo que es obvio de notar es la gran ventaja que el método prefabricado es más económico en cuestión de tiempo, por encima del método tradicional. Sin embargo, esta economía

en tiempo no se traduce en una economía en costo, sobre todo en la CR, donde es mucho más barato el uso de mano de obra.

Por lo anteriormente descrito, para comparar a estos dos sistemas de construcción, se hace necesario conocer cuál es su comportamiento a nivel de construcción masiva, partiendo de la hipótesis de que si el volumen de construcción de viviendas es grande, deberá de existir un punto de equilibrio entre ambos procesos constructivos, donde uno de ellos será más económico que el otro en términos monetarios.

Conclusiones de vigas

Las vigas prefabricadas por Edificar, cuestan una cuarta parte del valor de la viga prefabricada de Eurobau y este precio varía principalmente por que las vigas Eurobau, se hacen con concretos de altas resistencias y además con acero pretensado que asegura menores peraltes.

Las vigas pretensadas de Eurobau permiten alcanzar mayor capacidad de carga con peraltes más pequeños, lo que se ve traducido en menores volúmenes y por consiguiente menores pesos, los cuales deben ser considerados en la capacidad de carga de la grúa.

Conclusiones de Utilización de grúa

El tiempo utilizado por la grúa en labores secundarias alcanzan hasta 105 min diarios. Lo que le resta tiempo productivo a las actividades principales.

De acuerdo a los gráficos 1, 2 y 3, de los resultados se observa que en el caso de los entrepisos prefabricados (Eurobau y Tilo) los tiempos de grúa se concentran en el entrepiso. Convirtiendo esta tarea de entrepiso para la grúa en la tarea crítica para la grúa. Para el caso de la colocación de vigas y entrepiso prefabricado, el tiempo que se utiliza la grúa es de un 25% del tiempo, más un porcentaje de acarreo de armadura y colocación de concreto, donde la bomba no puede alcanzar.

Apéndices

Se presentan los apéndices del proyecto, que en su mayoría están compuestos por tablas e imágenes para ser consultadas necesitan ser ampliadas.

En total son 4 apéndices y se presentan a continuación.

Apéndice 1. Actividades para la toma de rendimientos.

Apéndice 2. Control de tiempo de uso de grua

Apéndice 3. Diagrama de Entrepiso colado en sitio

Apéndice 4. Diagrama de Entrepiso Tilo

Apéndice 5. Diagrama de Entrepiso Multitubular

Recomendaciones

Las siguientes recomendaciones son dirigidas a una persona con conocimientos básicos de los sistemas constructivos que se estudian en el presente proyecto.

- Una de las características más importantes viene del lado monetario, por lo que se debe tener claro las necesidades del cliente para el proyecto, ya sea por tiempo o por costo y de acuerdo a la investigación anterior tomar una decisión.
 - Análisis del acabado de la losa, necesidades acústicas, y espesores mínimos de la losa y claros máximos de losa.
 - Análisis estructural para definir la posibilidad de prefabricar vigas y si se cuenta con el espacio necesario.
 - Analizar el tipo de paredes del proyecto, para determinar si es significativo el trabajo de grúa en este elemento y si pudiera convertirse en una tarea primordial para la grúa.
 - Analizar el contexto en el que se desarrollará el proyecto, tomando en consideración:
 1. Fuentes disponibles de mano de obra.
 2. Distancia al lugar de aprovisionamiento de materia prima.
 3. Lugares de descarga para el concreto y limpieza de camiones.
- Analizar los espacios del proyecto tomando en consideración:
 1. Espacios para la instalación de grúa.
 2. Espacios disponibles para el almacenamiento de materiales.

Como recomendaciones específicas:

Sistema de entepiso colado en sitio:

3. Calidad de mano de obra.
4. Distancia del lugar de producción del concreto.

Sistemas prefabricados:

5. Plan de entregas con fechas programadas del prefabricado.
6. Lugar de apilamiento del material prefabricado.
7. Capacidad de maniobra de la grúa torre y alcance del brazo.
8. Cargas máximas de los elementos prefabricados.

Referencias

Villalobos, C. 2002 **Diseño de un Modelo de Cálculo para el Control de la Mano de Obra**. Informe de práctica de especialidad. Escuela de Ingeniería en Construcción, Instituto Tecnológico de Costa Rica.

Alfaro, A. 2008 **Análisis comparativo de los métodos de estimación de costos de mano de obra**. Informe de práctica de especialidad. Facultad de Ingeniería Civil, Universidad de Costa Rica.

Lemus, M. 1985. **EVALUACIÓN Y ANALISIS DE RENDIMIENTO DE LA MANO DE OBRA EN LA CONSTRUCCIÓN DE EDIFICIOS DE UNO A CUATRO PISOS**. Informe de práctica de especialidad. Escuela de Ingeniería en Construcción, Instituto Tecnológico de Costa Rica.

Consultas personales

Salazar, R. 2011. **EXPERIENCIA GENERADA POR LA EMPRESA CONSTRUCTORA EDIFICAR S. A. EN LA CONSTRUCCIÓN HOTEL MARRIOT**. Belén, Comunicación personal.

Penabah, C. 2011. **EXPERIENCIA GENERADA POR LA EMPRESA CONSTRUCTORA EDIFICAR S. A. EN LA CONSTRUCCIÓN HOTEL ALOFT**. Lindora, Comunicación personal.

RAMIREZ, C. 2011. **EXPERIENCIA GENERADA POR LA EMPRESA CONSTRUCTORA EDIFICAR S. A. EN LA CONSTRUCCIÓN EDIFICIO F-30 Y C-12**. Belén, Comunicación personal.

MORA, L. 2011. **EXPERIENCIA GENERADA POR LA EMPRESA CONSTRUCTORA EDIFICAR S. A. EN LA CONSTRUCCIÓN CONDOMINIOS URBANO**. SAN JOSE, Comunicación personal.

Brenes, L. 2011. **EXPERIENCIA GENERADA POR LA EMPRESA CONSTRUCTORA EDIFICAR S. A. EN LA CONSTRUCCIÓN F-30**. SAN JOSE, Comunicación personal.

Zúñiga, Pablo. 2005. **APLICACIONES PARA ANÁLISIS Y DISEÑO DE ELEMENTOS DE CONCRETO REFORZADO**

Mejía, Guillermo 2007. **APOYO EN EL ESTUDIO SOBRE LA MEDICION DE PRODUCTIVIDAD Y RENDIMIENTOS, CONSUMO DE MATERIALES MANO DE OBRA Y EQUIPOS UTILIZADOS PARA LA EJECUCIÓN DE ACTIVIDADES, BASADO EN EL ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS**

Villalobos, Carlos 2002. **DISEÑO DE UN MODELO DE CÁLCULO PARA EL CONTROL DE LA MANO DE OBRA**

Navas, Joel 2010. **DISEÑO DE UN MODELO DE CÁLCULO PARA EL CONTROL DE LA MANO DE OBRA**