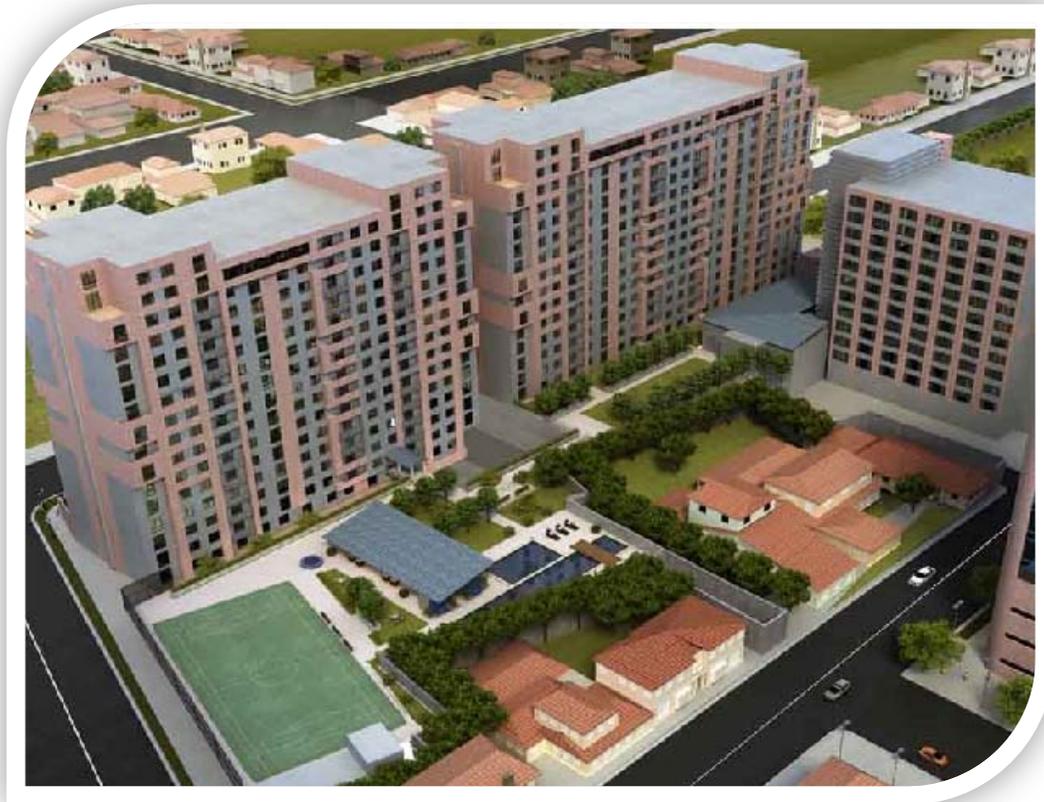


Cuantificación del rendimiento y productividad en elementos estructurales de concreto reforzado en edificios modulares en altura



Abstract

Construction, like all other industries, is in a constant search of improvement. Yet, despite the advances in technological tools and materials, its principle asset remains to be its human resource.

The principle objective of this project was the elaboration of a data bank for the construction company "Hogares de Costa Rica S.A." which intends to utilize the tool for project programming and cost estimation while keeping in mind the productivity and performance of its workers in the construction of tall buildings built with reinforced concrete.

This project was carried out in the Condominium 6-30, an apartment complex of more than 24,000 m² of construction, including two towers that will house a combined total 200 units. In construction of Tower A, a new process was utilized that permits the creation of monolithic structures based on the use of Forsa concrete forms.

While carrying out the project, expected trends were identified for construction processes including proper placement of steel reinforcement, proper placement of concrete, and the removal of concrete forms, which will serve as a basis for projects like Tower B.

Key Words: Performance, Productivity, Monolithic, Condominium, Formaleta Forsa

Resumen

La construcción como todas las industrias está en busca de continuo mejoramiento en todos sus campos de acción y, a pesar de los avances tecnológicos en herramientas y materiales, el recurso humano sigue siendo su principal activo.

El objetivo principal de este proyecto fue elaborar para la empresa Hogares de Costa Rica S.A. un banco de datos basado en la medida de productividad y rendimientos que sirva como herramienta para la programación de proyectos y la estimación de costos en la confección de estructuras de concreto reforzado en edificios modulares de altura.

Este proyecto se realizó en el Condominio 6-30, este complejo habitacional de más de 24 000 m² de construcción, comprende 2 torres de apartamentos, las cuales albergarán 200 unidades habitacionales entre ambas. La edificación de la torre A se gestó utilizando un nuevo método constructivo el cual permite la elaboración de estructuras en forma monolítica basadas en las prestaciones de la formaleta Forsa.

Con la realización del proyecto se lograron determinar patrones de medida para los procesos de confección y colocación de refuerzo de acero, colocación y remoción de formaleta, así como de la colocación de concreto todo lo cual servirá de base para proyectos futuros como la torre B.

Palabras Clave: Rendimiento, Productividad, Monolítico, Condominio, Formaleta Forsa

Cuantificación del rendimiento y productividad en elementos estructurales de concreto reforzado en edificios modulares en altura

Cuantificación de rendimientos y productividad en elementos estructurales de concreto reforzado en edificios modulares en altura

JUAN PABLO MONTERO MOREIRA

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

Junio del 2010

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA
ESCUELA DE INGENIERÍA EN CONSTRUCCIÓN.

Contenido

PREFACIO	1
RESUMEN EJECUTIVO	3
MARCO TEÓRICO.....	4
INTRODUCCIÓN.....	12
OBJETIVOS	14
METODOLOGÍA	15
RESULTADOS	20
ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS.....	41
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	51
APÉNDICES	55
ANEXO	56
REFERENCIAS.....	87

Prefacio

La construcción al igual que todas las industrias, va evolucionando para adaptarse a las nuevas tendencias y necesidades del mercado, siendo la competencia un reto en el continuo mejoramiento basado en nuevos conocimientos. De ahí que la información ha dejado de ser un medio para convertirse en un recurso vital para estar a la vanguardia.

Las empresas luchan por adicionarle a cada construcción el máximo valor agregado que le permita potenciar sus recursos y distinguirse del resto, para ello debe ser capaz de innovar en el uso de materiales y procesos constructivos, así como optimizar y potenciar de manera eficiente los recursos a disposición.

Aún cuando hay disponibilidad de tecnología, materiales, métodos constructivos y muchos otros instrumentos para mejorar los procesos, el recurso más valioso en la industria de la construcción sigue siendo el recurso humano. A pesar de que no es posible actualizarlo como se hace con equipos y herramientas para aumentar su desempeño, sí es posible la implantación de mejores procesos constructivos que permitan obtener una mayor eficiencia.

Cada día aumenta la necesidad por determinar parámetros de medición que permitan cuantificar el desempeño del personal a fin de implementar nuevos métodos constructivos y eliminar vicios de los procesos actuales, con el único propósito de traducir esas mejoras en beneficios sustanciales.

Estos patrones de medida se convierten en una herramienta importante para la programación de proyectos pues es posible basados en la producción, estimar los tiempos en que se realizará una tarea. De manera paralela se pueden cuantificar los materiales requeridos en una labor y de ahí adaptar la logística para que se acople con el ritmo de trabajo implantado, así evitar problemas de bodegaje o desbalance en los flujos de caja.

Otro beneficio que acarrea tener medidas

del desempeño del personal lo conforma el hecho de que estos parámetros se pueden utilizar como patrón para la comparación directa entre contratistas y de manera que la empresa pueda tener control e indicar cambios en su ritmo de trabajo.

Este dispositivo se vuelve aún más poderoso cuando se han implantado nuevos sistemas constructivos, en los cuales no se cuenta con precedentes del desempeño que pueda tener la fuerza laboral. Además da la posibilidad de implementar un marco comparativo en forma cuantitativa y cualitativa con respecto a otros sistemas y determinar la conveniencia de uso, según sea el caso.

El objetivo de este proyecto es cuantificar la productividad y rendimientos de la mano de obra en la confección de estructuras de concreto reforzado para edificios modulares en altura, pues este tipo de edificaciones son cada vez más comunes en el medio costarricense, y esta información juega un papel preponderante en la programación y estimación de costos, y por ende, en la ejecución y éxito de estos proyectos.

El desarrollo de este proyecto fue posible gracias a la oportunidad brindada por la empresa Hogares de Costa Rica, para incorporarme al grupo de trabajo del Condominio 6-30. Agradecimiento especial al Arq. Álvaro Camacho, la Ing. Gloria Arango y al Lic. Federico Escobar responsables del Departamento de Construcciones, quienes junto a todo su personal siempre estuvieron anuentes a colaborar en todo momento. De igual manera al equipo de trabajo del Condominio 6-30, al ingeniero residente. Rafael Quesada, la Arq. Piedad Lopera, encargada de las obras exteriores, el Ing. Jorge Fonseca, ingeniero eléctrico residente, el maestro de obras general Manuel Cruz, a los bodegueros: Jaminton Vanegas y David Sánchez; al grupo de contratistas: Francisco Flores, José Pérez, Mayid Halabí, Héctor Ojeda, Carlos Huete y muchos otros que ofrecieron su amistad y colaboración

para la realización de este proyecto.

Sin dejar de lado la invaluable ayuda del ingeniero en producción Luis Diego Vargas, así como a los profesores: Marco Anderson, Esteban LeMaitre y Juan Valerio profesores de la Escuela de Ingeniería en Producción Industrial del TEC, en especial a la Ing. Ana G. Leandro y al Ing. Milton Sandoval, profesores de la Escuela de Ingeniería en Construcción por su colaboración como guías en la confección de este trabajo de investigación.

Resumen ejecutivo

Este proyecto de investigación se llevó a cabo como parte integral del programa de estudios de Ingeniería en Construcción para optar por el grado de Licenciatura en el Instituto Tecnológico de Costa Rica.

Esta investigación de campo se realizó en el Condominio 6-30, el cual consta de 16 niveles, alcanza una altura superior a los 40 metros sobre el terreno y completa una obra que supera los 24000 m² de construcción.

La construcción de este proyecto está a cargo de la Empresa Hogares de Costa Rica S.A., la cual se ha dedicado al desarrollo de obras urbanísticas durante los últimos 35 años. Dicha compañía se ha especializado en la construcción urbanizaciones, sin embargo, en los últimos años se ha avocado la construcción de condominios bajo el régimen de propiedad horizontal en varios niveles, es decir, condominios en torres de apartamentos, por lo cual cuenta con una corta pero importante experiencia en este campo.

El desarrollo de la investigación tuvo como objetivo la cuantificación de rendimiento y productividad de la mano de obra en la elaboración de elementos estructurales de concreto reforzado en edificaciones modulares de altura, con lo cual la empresa tendrá una herramienta importante para la programación de proyectos y la evaluación de subcontratistas.

Para cumplir con los objetivos planteados se consultaron diversos libros y profesionales en la materia, pues los rendimientos y la productividad son una especialidad de la Ingeniería Industrial y no de Construcción. Por ello se debió hacer las adaptaciones necesarias para poder homologar las metodologías y extraer la información requerida, sin dejar de lado que la dinámica de un proyecto en construcción difiere en gran medida de la que posee un proceso industrial.

Como consecuencia de la pesquisa realizada en las ramas de producción, se decidió utilizar varias herramientas, entre ellas el muestreo del trabajo y la estadística descriptiva. Pues en forma conjunta permiten no sólo obtener rendimientos y productividad, sino que facilita obtener el grado de confiabilidad de los datos estimados, incluso inferir comportamientos de las variables en estudio.

En el sector de la construcción se requirió analizar con gran detenimiento las diferentes labores que implica un método constructivo de una estructura monolítica. Determinar cuáles procesos tienen el mayor peso de trabajo, incluso generar un estudio detallado de las prestaciones de cada uno de los materiales usados para su implementación, pues también son parte vital del quehacer diario.

Se logró implementar un sistema de medición de rendimientos, basado en la modulación de los diferentes pisos, que al mantener una configuración homogénea, permite hacer comparaciones directas, pues su labor de construcción cuenta con las mismas características en forma reiterada, y se pueden determinar cuáles factores influyen en el desempeño específico de cada tarea.

Marco Teórico

Hogares de Costa Rica

La Empresa Hogares de Costa Rica es una empresa pionera en el sector de la construcción, pues cuenta con más de treinta y cinco años de experiencia en el mercado nacional. La finalidad de la empresa es el planeamiento, desarrollo, construcción y operación de condominios y urbanizaciones, pues como su nombre lo indica su vocación es eminentemente urbanística.

Esta empresa ha explorado el campo de la confección de condominios en forma horizontal durante muchos años, generando un equipo de trabajo habituado a este tipo de proyectos; sin embargo, en los últimos años con la modificación de las tendencias en el sector inmobiliario y las necesidades de vivienda de las nuevas generaciones, la empresa se ha adaptado al nuevo estilo de construcción de condominios. Donde se introduce la construcción vertical a gran escala, el lujo y la comodidad en una armonía con el ambiente externo.

Esta nueva tendencia impone retos importantes en el sector construcción, pues la elaboración de edificaciones de altura es un campo poco explorado en el país. Sin embargo, en una ciudad convulsa por la mala planificación y el tráfico como San José, esta opción puede ser una solución versátil a los problemas de espacio y una forma de repoblar las ciudades.

Hogares de Costa Rica ha impulsado la confección de condominios verticales, donde ofrecen una multitud de comodidades que se adaptan a un nuevo estilo de vida; donde la seguridad y la comodidad familiar son la prioridad fundamental; aunados a acabados de lujo y espacios arquitectónicamente agradables son respaldo de todo un nuevo dogma en la construcción vertical.

En la última década Hogares ha implementado estructuras de altura como el Centro Corporativo Internacional ubicado en Barrio Don Bosco con dos estructuras que tienen

6 y 9 pisos respectivamente para la torre A y B; ha logrado plasmar este nuevo concepto en proyectos como: el Condominio Monte Plata, ubicado en altos de Escazú, dos edificios gemelos que alcanzan los 12 niveles de altura sobre el terreno y más recientemente en la torre A del Condominio 6-30 ubicado en Barrio Don Bosco.

Es decir, la empresa tiene una corta pero importante experiencia en edificaciones de altura sobre los centros urbanos del país, en la cual ha logrado conjuntar un equipo de trabajo, que ha conseguido adaptarse a las exigencias de este tipo de construcciones, así como la consecución de un conjunto de empresas colaboradoras y proveedores que han logrado cumplir los demandantes requerimientos de la magnitud y ritmo de trabajo que exigen este tipo de edificaciones de altura.

En la actualidad el mercado de bienes raíces ha generado una competencia implacable que obliga a las constructoras a industrializar y certificar sus procesos constructivos, a mejorar y adjuntar todo valor agregado que le pueda distinguir del resto, pues la oferta se acrecienta cada día, mientras que la demanda eleva sus estándares de calidad; en una carrera que sigue la ley del más fuerte, y es justo ahí donde Hogares de Costa Rica ha logrado consolidarse como una empresa pionera, acreditándose con la Norma ISO-9001 e implantando nuevos métodos constructivos que le permiten no sólo competir sino ponerse a la vanguardia en el sector constructivo nacional.

Es importante mencionar esto para hacer referencia clara que la compañía tiene experiencia en este tipo de edificaciones y que ha logrado adaptarse a los cambios, en otras palabras, que no es lo mismo un personal experimentado que conoce a fondo el oficio que otro nuevo por experimentar.

Condominio 6-30

El condominio 6-30 es un complejo habitacional ubicado en el centro de San José, específicamente en el Barrio Don Bosco sobre calle 20 entre avenidas 6 y 10. La excentricidad del la obra le confiere un atractivo importante, pues se encuentra en la cercanía de servicios públicos de primer nivel y con los principales centros de empleo, además de fomentar el proyecto para el repoblamiento urbano de la capital auspiciado por la Municipalidad de San José.

Este proyecto comprende un total de 206 apartamentos distribuidos en dos torres, que comparten una sección donde se han desarrollado obras tales como: piscinas, cancha multiusos, rancho, gimnasio y áreas verdes que complementan la totalidad del complejo como se observa en la figura 1.

La torre A alcanza los 16.5 pisos, a los que se debe adicionar la construcción de dos niveles de sótanos destinados a parqueos y bodegas. El primer nivel, que coincide con la altura de la calzada en el sector Oeste, tendrá una serie de locales comerciales para aprovechar la excentricidad y fácil acceso sobre la avenida 10. A partir del segundo nivel comprende el desarrollo de 96 unidades habitacionales; las cuales varían sus características en los primeros cinco niveles, acomodándose a las diversas necesidades de los clientes contando con apartamentos de 1,2 y 3 dormitorios. Sin embargo, a partir del sexto nivel presenta una regularidad en planta que se extiende hasta el decimocuarto piso, con una configuración de seis apartamentos por nivel. Los pisos catorce y quince están destinados a cuatro apartamentos de lujo que constan de dos niveles cada uno.

Por otra parte la torre B, aunque tendrá un alcance vertical similar al de la torre A, posee una mayor sección que le permitirá albergar alrededor de 116 apartamentos, con un promedio de ocho por nivel.

Para la implementación de la totalidad de la obra, la empresa constructora ha dividido el este proceso en dos fases, la primera que para la torre A y las áreas comunes y segunda para la torre B y la sección de interconexión entre ambas edificaciones.

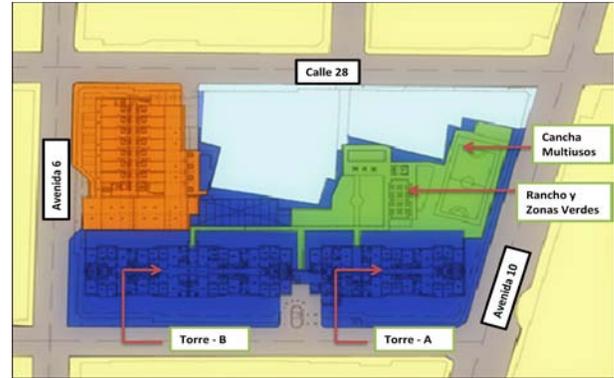


Figura 1. Planta del Condominio 6-30

Desde el punto de vista constructivo, esta edificación impone muchos retos de ingeniería, primeramente por tener un espacio reducido para el almacenaje de materiales y movilidad de maquinaria en medio de una ciudad que colapsa fácilmente con el tránsito, lo cual supone una logística compleja. La confección de una estructura monolítica que supera los cuarenta metros de altura, con un sistema de formaleta novedoso en el país, el cual insta al rápido aprendizaje y adaptación de toda la mano de obra y proveedores presentes para la complementar el sistema constructivo, y así poder cumplir con las exigencias que demanda este tipo de edificaciones.

Es importante destacar que la construcción de estructuras en forma monolítica, no es muy comunes en Costa Rica, por ende, el diseño, sistema de encofrado y colado implican el uso de nuevas técnicas y metodologías para su exitosa consecución.

En otras palabras que el grado de complejidad de la ingeniería que hay detrás de la programación, diseño, construcción y supervisión de una estructura que alcanza los veinte cuatro mil metros cuadrados tiende a alcanzar la perfección, para llevar al éxito un proyecto de este calibre.

Mano de Obra

La Empresa Hogares de Costa Rica ha implantado su sistema de trabajo bajo la modalidad de subcontratos para llevar a cabo la mayoría de sus proyectos. Si bien es cierto esta

práctica no es novedosa tiene la característica que exime de muchas responsabilidades a la empresa, especialmente en cuanto al manejo y contratación de la mano de obra; pues dicho recurso va por cuenta del subcontratista. Trabajar de ésta manera le permite tener un control más estricto de los diversos procesos constructivos, cuidando así los estándares de calidad de los materiales y de la mano de obra, pues debe preocuparse únicamente por el adecuado abastecimiento de materiales de cada subcontratista, para ello debe implementar una logística importante tomando en cuenta el reducido espacio y los cortos plazos de entrega y desembarque, con una programación ingeniosa y cuidadosa de cada tarea por realizar.

En caso específico de 6-30 se tiene diversos contratistas, tanto para obras como labores específicas, tal es el caso de Geo-Fortis S.A. en el área de cimentaciones o M.Halabí S.A. para las instalaciones electromecánicas, sin embargo, para enfocarse en el área de la confección de estructuras de concreto se debe mencionar que la empresa Armaduras Huete S.A. está a cargo de la confección y colocación de elementos de acero, la empresa Construcciones Flores Poveda S.A. se encarga de la implementación de la formaleta, así como de la colocación de concreto, mientras que la empresa Orosí Grupo Siglo XXI es quién suplente la demanda de concreto para la obra, y el sistema de bombeo de éste.

Para la supervisión de estos contratistas se han empleado los servicios profesionales de la empresa Grupo IECA, encargada del diseño estructural e inspección del mismo, además del Laboratorio Castro & De La Torre para la supervisión de todo lo relacionado con el tema de calidad en concretos y acero.

Esto deja a la empresa Hogares de Costa Rica, como la fiscalizadora de todos los procesos constructivos, velando por la seguridad y calidad de las diferentes labores, y designado en manos del contratista la parte de rendimiento del personal, pues es éste quién debe cumplir con los tiempos de entrega estipulados en sus respectivos contratos; los cuales su vez supeditan los desembolsos de dinero respecto al grado de avance que presenten. Es decir, que los contratistas deben mantener un ritmo de trabajo constante, sin dejar de lado la calidad del trabajo, pues su retribución económica depende del buen balance de ambos parámetros en la realización

del trabajo, esto deja gran rédito desde el punto de vista de productividad para el contratante.

Todo esto va generando una compleja e intrincada maraña de labores, materiales, personal y proveedores que debe ser operada con sumo cuidado, con una precisión casi quirúrgica para no hacer entrar a la empresa en desbalances económicos o problemas de bodegaje; pues cada una de estas variables puede generar un caos en la programación y éxito de la obra.

Sistema Constructivo

Como se mencionó anteriormente, el diseño del Condominio 6-30 es una estructura monolítica en concreto reforzado, es decir, que el edificio en su totalidad conjuntamente con la cimentación son uno solo, ello implica que su diseño estructural requiere de un análisis sumamente complejo, pues no es posible descomponer sus elementos en vigas, columnas, entresijos y muros como es usual, sino que éstos se definen en un mismo sistema estructural que trabaja de forma conjunta.

Este diseño trae consigo, complicaciones en el proceso constructivo, puesto que si la estructura emerge como un solo elemento, así mismo lo deberán hacer todos los elementos involucrados, tales como el refuerzo de acero, las instalaciones electromecánicas y obviamente el colado de concreto, pues cada uno de los componentes es vital no sólo para el soporte de sí mismo, sino para el piso siguiente.

Específicamente todas las actividades relacionadas con la confección y colocación del refuerzo de acero, es una de las mayores implicaciones del diseño monolítico, pues los distintos dispositivos de soporte se entrelazan a lo largo de la estructura, a fin de que se pueda generar una transmisión óptima de cargas para soportar las diferentes solicitaciones a las que estará expuesto. En otras palabras es el refuerzo el responsable de que la estructura pueda tener ese comportamiento uniforme y que el edificio pueda funcionar como una sola unidad estructural.

Por esto las configuraciones de acero en paredes y losas, son muy complejas, pues deben ligar la armadura de las vigas, columnas y muros

con la de las losas de entrepiso y dejar los arranques de las paredes del próximo nivel. Esto genera un laborioso trabajo tanto en el banco de acero como en el frente de trabajo donde se hace la tarea de la colocación del material.

Esta compleja configuración de refuerzo forma parte importante del costo de la edificación, pues es el insumo con mayor demanda, y por las condiciones actuales del mercado, también uno de los costosos.

Otro elemento que debe colocarse en forma conjunta son las instalaciones eléctricas y mecánicas, pues sus diversos dispositivos de transporte y sujeción, deben instalarse en una posición correcta en medio de la estructura de acero para que pueda quedar embebida en la estructura de concreto. Este proceso ocurre en dos tramos, cuando se ha terminado la colocación del acero de muros y cuando se ha terminado el armado de la losa, se instalan las diferentes tuberías, ya sea eléctrica o de transporte de agua, y sus dispositivos como llaves de paso o abasto, apagadores, tomacorrientes, salidas de voz y datos, de televisión, aspersores y se dejan las previstas para la conexión con los niveles siguientes de los diferentes servicios.

El eje central de todo el engranaje del sistema constructivo es la formaleta de aluminio de la empresa Forsa S.A., ésta es el principal artífice de la elección de este sistema constructivo para el Condominio 6-30. Este sistema de formaleta, relativamente novedoso en el país, permite la construcción de estructuras monolíticas, pues ofrece un sistema integral para el encofrado de muros y losas que puede ser implementado con gran facilidad y rapidez, sin necesidad de mayor equipo para su transporte y colocación.¹ Se hará hincapié para explicar en forma un poco más profunda el funcionamiento, pues es el elemento clave para en el proceso de construcción.

El sistema diseñado por Forsa² consiste en panelería de aluminio en forma integral, por lo cual sus encofrados son livianos para el transporte, pues el peso promedio ronda los 22 kg/m² haciéndolos mano-portable lo que facilita el acarreo para el armado y desencofrado. Por su aleación de aluminio y magnesio, y su sistema de refuerzo puede soportar hasta unos 1500 usos

¹ Catálogo Forsa 2010, Forsa S.A

² Catalogo Forsa 2010, Forsa S.A.

con una capacidad de presión de vaciado de hasta 60 kPa., ello permite un uso constante, y colados de concreto de varios metros de altura.

Dentro de las características más destacadas son la versatilidad de su panelería, pues cuenta con paneles que van desde los 10 cm. hasta los 60 cm de ancho y alturas variables de los 60 cm hasta los 240 cm, sin dejar de lado, la posibilidad de obtener un molde a la medida según las necesidad del proyecto.

El sistema de sujeción es una las variantes más destaca respecto de otros sistemas de formaleta, pues comprende una serie de corbatas, cuñas y pasadores para los muros, grapas y pin-grapa para muros y losas. Las grapas de candado (figura 2) están instaladas en el panel, lo cual aumenta la velocidad de colocación, pues ya están en la posición correcta para su anclaje con panel adyacente, y el resto de accesorios se adaptan a sectores más incómodos como esquinas y cruces de paredes.



En forma paralela el sistema de apuntalamiento es ajustable con el mismo sistema de pasadores, es decir, que la parte superior del puntal puede también unirse al panel mediante un pin y una cuña, esto para los muros, mientras que para las losas, tiene una serie de paneles corona (figura 3) con un anclaje para el puntal, lo cual permite el desencofrado de la losa sin necesidad de desmontar el puntal, permitiéndole el tiempo adecuado de fraguado de la losa. A pesar de tener estas facilidades de apuntalamiento, el sistema requiere mucho



Figura 3 - Panel Corona de Formaleta Forsa

menos soporte exterior en comparación con el sistema Steel Ply.

Por ser un sistema integral, posee una serie de paneles especiales para la unión entre muro y losa, pues hace una sujeción a diferentes niveles dependiendo el grosor deseado de losa, permitiendo la chorroa de losas y muros en forma simultánea, como lo muestra la figura 4.

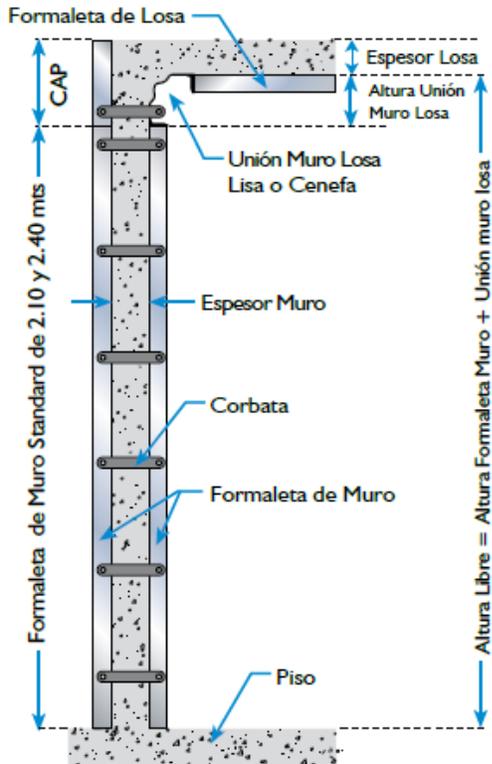


Figura 4- Sistema de Formaleta Forsa

3

Otros aspecto que se reviste de importancia en una edificación de altura, es el hecho de que sistema de formaleta utiliza las mismas fisuras de las corbata para instalar un sistema de pasarelas que permite el armado exterior de los muros de una manera segura, sin necesidad de tener que implementar un sistema adicional para dichos propósitos, incurriendo en gastos adicionales que podrían dañar la estructura previa y disminuyendo el aumentando el tiempo requerido para instalar la formaleta. Este sistema pretende industrializar el proceso de confección de estructuras de concreto en serie, ello se traduce en un beneficio importante de

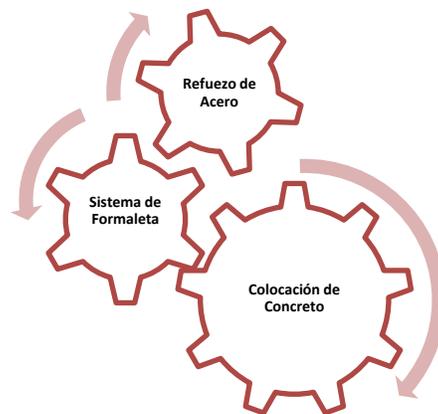
costo y tiempo, pues no se requiere equipo adicional para su implementación y permite crear muros y entresijos en una misma colada de concreto.

La colocación de concreto es el mayor beneficiado de este sistema de constructivo, pues no requiere modificación alguna, más que una fluidez de concreto adecuada que le permita introducirse entre las estrechas cavidades que quedan entre los cruces de acero y la formaleta.

Además por las propiedades del sistema de formaleta permite mayores alturas de colado, esto incrementa la velocidad de colocación y evita la generación de juntas frías y otros vicios propios de la chorroa en capas.

Un aspecto importante que implica la construcción de una edificación de este tipo, es que conforme va creciendo en forma vertical es necesario implementar diversos sistemas para el transporte del concreto a las alturas. En el caso del Condominio 6-30 se han utilizado los tres sistemas convencionales: el transporte de balde mediante la grúa, el bombeo mediante un brazo telescópico móvil y el bombeo mediante un sistema de tuberías colocadas en toda la extensión del edificio.

Básicamente el sistema constructivo en forma monolítica se cimienta en tres aristas principales que trabajan en forma conjunta, pues siguen un orden lógico y dependiente; por ello se debe procurar mantener el acople óptimo de cada proceso para el buen desempeño.



3 Catálogo Forsa 2010, Forsa S.A.

Muestreo del Trabajo

“El muestro del trabajo es una técnica usada para investigar las proporciones de tiempo total dedicadas a las diversas actividades que constituyen una tarea o situación de trabajo”⁴ Como lo muestra la definición que hace García en su libro, esta técnica tiene la finalidad de obtener un conjunto de porcentajes que sean representativos del tiempo que toma la totalidad de una labor, por cuanto se pueden determinar cuáles actividades consumen un mayor porcentaje del recurso humano o material.

Esta técnica hace un análisis cuantitativo en términos de tiempo de la actividad de hombres, máquinas o cualquier otro medio para realizar un trabajo, determinando periodos productivos o de ocio, los suplementos justificables por retrasos necesarios o inevitables, así como la frecuencia con la cual ocurren.

Esta técnica sigue un proceso metódico para lograr su cometido, cimentando su efectividad en doctrinas de la probabilidad y la estadística, que se explicarán conforme el procedimiento lo requiera

Su procedimiento cuenta con varios pasos, el primero establecer un objetivo, es decir proponer que la incógnita a la cual se le quiere dar respuesta.

Con el norte claro se traza un camino para obtener la información necesaria que nos permita lograr el cometido y la pieza fundamental es el muestreo de campo, pero antes de iniciar esta labor se requiere una mayor planificación y conocimiento de las tareas por medir, para familiarizarse con el espacio físico y la labor en sí misma. Esto permite entender la dinámica propia del sitio, una mejor comprensión del comportamiento del personal, las rutas de materiales, las herramientas, las condiciones de trabajo, el sistema de trabajo y el desarrollo de la diversidad de labores que conforman una misma tarea

Primero se debe determinar la población, es decir se cuantificar el conjunto de de todos los elementos que pueden ser objeto del estudio estadístico. Como el estudio se puede hacer por procesos o secciones, entonces se puede elegir un subconjunto extraído de la población,

⁴ *Estudio del Trabajo: Ingeniería de métodos y medición del trabajo.* Roberto García Criollo.

generalmente mediante técnicas de muestreo, y cuyo estudio tiene como finalidad inferir características de toda la población. Es decir una muestra es un diferencial representativo del cual se pueden inferir comportamientos atribuibles al resto de toda la población sin necesidad de realizar el estudio a la totalidad de la misma.

Retomando el procedimiento del muestreo se debe hacer una ronda preliminar de mediciones aleatorias, pues es preciso estimar un valor inicial de probabilidad (p) de un evento, o mejor dicho, que el conjunto de actividades productivas se presente en el momento en que se toma la muestra, esto se puede determinar con la siguiente fórmula:

5

Una vez obtenido el valor estimado de P, se procede a determinar el número necesario de mediciones para tener un cierto grado de confiabilidad del muestro, mediante la fórmula:

6

Donde:

n: número de muestras requerido

p: probabilidad de éxito

$Z_{\alpha/2}$: Nivel de Confianza

E: porcentaje de error

Como no se conoce el error asociado por procedimiento, por lo general se define un 5% como aceptable, que puede variar según las necesidades de la medición. Y para el nivel de confianza se estima mediante un porcentaje según la tabla a continuación:

Tabla 1. Niveles de Confianza

Nivel de Confianza	Valor de $Z_{\alpha/2}$
95.0	1.96
99.0	2.58
99.9	3.30

De esta manera se obtiene el número de observaciones necesarias para que el muestreo

⁵ *Estudio del trabajo: Ingeniería de métodos y medición del trabajo.* Roberto García Criollo

⁶ *Ingeniería Industrial: Métodos y diseño de trabajo,* Benjamín Niebel & Andris Frevlads

tenga un "x"% de confiabilidad y un porcentaje asociado de error del "x"%. A nivel de muestro de trabajo, el nivel de confianza generalmente se intenta utilizar el 95% de confianza y el 5% de error se determina como aceptable.

Si no es posible obtener todas las observaciones que se estimaron, se pueden utilizar las mismas fórmulas en forma inversa para decir qué nivel de confianza y error asociado se obtendrá si se tienen "n" mediciones, pues, en ciertos casos no es posible lograr más observaciones que la totalidad de la población.

Conforme se van obtenido datos se puede ir viendo el comportamiento de la medición, es justo aquí donde entra a jugar la teoría de límite central, la cual indica que una muestra aleatoria de una población tiende a tener la misma distribución que dicha población, es decir, que si la muestra es representativa, el resto de la población que no fue estudiada tendrá el mismo patrón de comportamiento.

Ahora bien, si la muestra es típica y presenta una distribución de datos uniforme, y conforme se van obteniendo los datos deben acomodarse en rangos iguales para determinar cuál de ellos tuvo la mayor incidencia de casos, que representado en una diagrama de barras, se conoce como histograma. Ahí se logra obtener una visión clara del número al que apunta la mayoría datos, para obtener un valor promedio y también cuál es el comportamiento aleatorio de éstos.

Los datos pueden seguir cualquier patrón, sin embargo, si todos van apuntando a un mismo valor, se puede decir que se está en presencia de una distribución normal, como lo afirma el teorema de límite central, todo ejemplar aleatorio va tomando una tendencia hacia ese punto, al cual se le conoce como media y se puede obtener mediante la siguiente fórmula:

$$\bar{X} = \frac{\sum X}{n}$$

Donde

X = promedio

$\sum X$ = sumatorio de los datos

n= número total de datos

Ahora, para caracterizar con detalle un conjunto de datos, no basta con conocer la

tendencia central, sino que también se debe determinar la desviación estándar, que representa la medida de dispersión o desviación de los valores respecto de su media aritmética, con el objeto de poder definirlos de una forma que se aproxime de mejor manera a la realidad y permita extraer información con mayor facilidad y confiabilidad. La desviación estándar se calcula de la siguiente manera:

$$s = \sqrt{\frac{\sum (X - \bar{X})^2}{n}}$$

Donde

σ : Desviación estándar

X_i : la serie de datos

\bar{X} : el promedio

n: total de datos

La desviación estándar y el promedio son los modeladores de la distribución de datos, a la que se le conoce como normal, cuando los datos tienden a un valor. Esta distribución también se le llama campana de Gauss, en honor a su modelador. Esta gráfica se puede obtener agrupando los datos en rangos iguales llamados clases y determinando la periodicidad con que los datos caen en cierto intervalo, a ello se le llama frecuencia. Si se grafican las frecuencias en forma de barras, al unir los puntos medios de los extremos superiores se puede obtener un forma de campana. El punto más alto de esta campana tiende hacia el valor central y su flexión hacia los costados la dictamina la magnitud de la desviación estándar. El área bajo la curva indica la probabilidad de que un evento suceda con el valor que indica su rango, por lo que la parte central de la curva genera una cresta al acercarse al valor promedio, mientras que sus costados son asintóticos al eje de las abscisas, pues su probabilidad es muy baja, tendiendo a cero.

De ahí se desprende la importancia de determinar la distribución de los datos que se obtienen, pues en la medida que estas poblaciones puedan deducir un comportamiento, así mismo se puede confiar en las conclusiones que se obtienen de los gráficos.

⁷ Estudio del Trabajo: Ingeniería de métodos y medición del trabajo. Roberto García Criollo

⁸ Ingeniería Industrial: Métodos y diseño de trabajo, Benjamín Niebel & Andris Frevlads

En síntesis el muestreo de trabajo sigue los siguientes pasos para su elaboración:

- A. Determinación del objetivo
- B. Esquematizar y categorizar actividades
- C. Diseño del Procedimiento de Muestreo
 - I. Estimación de la cantidad de observaciones
 - II. Selección de la longitud del muestreo.
 - III. Método exacto de observación
 - IV. Diseño de tabla de datos
- D. Recopilación de datos mediante la ejecución del muestreo
- E. Procesamiento probabilístico y estadístico de los datos
- F. Presentación de Resultados
 - I. Diagramas de Procesos
 - II. Análisis de Diagrama
 - III. Cuantificación de porcentajes por actividades
 - IV. Cuantificación de productividad
 - V. Determinación de tiempos

Introducción

La empresa Hogares de Costa Rica es una empresa con más de 35 años de experiencia en el mercado nacional. Como lo indica su nombre tiene una vocación urbanística, por ello durante muchos años ha proyectado su línea de trabajo a los condominios en forma horizontal. Sin embargo, en los últimos años ha incursionado en el mercado de inmuebles en régimen de propiedad horizontal, respondiendo a las nuevas tendencias del diseño urbano en el mercado costarricense.

El Condominio 6-30 está ubicado en el centro de San José, entre las avenidas 6 y 10 sobre la calle 30, de donde precisamente toma su nombre. La torre A consta de 16 niveles, de los cuales 15 contemplan 96 unidades habitacionales, el primer nivel para locales comerciales y 2 sótanos para el área de parqueos y bodegas. Como parte de sus obras adicionales cuenta con un área común donde se encuentran: piscinas, cancha multiusos, rancho, gimnasio y zonas verdes como completar la totalidad del complejo.

Como método constructivo Hogares ha implementado la confección de una estructura en forma monolítica, la cual implica que todos los procesos alrededor de la estructura deben caminar al mismo ritmo para poder cumplir con las exigencias que conlleva este tipo de obras.

Como pieza fundamental del proceso constructivo se encuentra la formaleta Forsa, la cual permite la confección de estructuras de concreto en forma integral, pues se pueden colar muros y losas de entresijos en forma simultánea.

Aunado a estas particularidades se encuentra que la empresa trabaja bajo la modalidad de subcontratos, por cuanto la mano de obra corre por cuenta del contratista y la empresa funge como fiscalizador de la calidad del trabajo y proveedor de materiales.

Por tal motivo contar con una herramienta para la obtención de rendimientos y parámetros de medición se torna en un dispositivo importante para la programación de proyectos, elaborar la logística de materiales, estimar costos de mano

de obra y como unidad de medida para la evaluación de los diversos contratistas. Además se plantea como un indicador en el cual la empresa puede ver si está cumpliendo con lo proyectado o, si por el contrario, debe aumentar su ritmo de trabajo.

Este proyecto tiene como finalidad la cuantificación de rendimientos y mano de obra para elementos estructurales de concreto reforzado en edificios modulares de altura, es decir, intentar medir el desempeño del recurso humano en los diferentes procesos que requiere la confección de estructuras de hormigón con refuerzo de acero para edificaciones de varios niveles con distribuciones arquitectónicas de similares características.

Como ésta es materia de estudio de la producción industrial, no se cuenta con literatura que hable específicamente de construcción, por tal motivo debe de realizarse una serie de adaptaciones a fin de poder utilizar las metodologías de estudio del trabajo que ahí se definen.

Entonces para cumplir con los objetivos planteados se definieron los principales procesos que conforman la metodología de construcción, y determinando cuáles actividades tienen su mayor o menor grado de participación, luego se analiza qué factores influyen en el óptimo desempeño del personal, evaluando elementos como el sitio de trabajo, el clima, la remuneración salarial, las herramientas, el tipo de trabajo y el material utilizado.

La metodología para medir la productividad y los rendimientos sigue una serie de pasos de fácil aplicación, sin embargo, requiere una exactitud importante, pues se tiene una responsabilidad grande, dado que se está en juego con el trabajo de muchas personas, contratos y otros, por eso debe realizarse de la manera más precisa y justa posible.

El muestreo de trabajo propone para medir la productividad, la generación de datos mediante una serie de observaciones aleatorias

y la clasificación de las actividades entre productivas y no productivas. Para darles la confiabilidad a estos datos se realiza un estudio estadístico de la información y se determinan los porcentajes de error, el grado de confiabilidad y el patrón de comportamiento de las variables desde un punto de vista matemático para que se fundamente los resultados obtenidos.

Con la generación de gráficas se pueden deducir tendencias de la productividad y rendimiento, mediante un análisis objetivo se pueden determinar problemas y fortalezas de los procesos, y a partir de ahí generar propuestas de cambio y recomendaciones para crear un mejor ambiente de trabajo y, consecuentemente, un aumento en el desempeño general.

Por ser el sistema de formaleta un tanto novedoso en el medio, esta producción de parámetros sentó las bases para que en el futuro otras empresas tengan un punto de comparación en sus proyectos, y puedan intentar dar un paso adelante hacia la innovación en procesos constructivos. En el caso específico de Hogares será una herramienta útil para la programación de proyectos, especialmente porque se quiere adoptar este sistema constructivo como estándar para obras futuras, y en el caso más específico para la confección de la segunda parte del Condominio 6-30, la cual será una torre gemela que compartirá, además de sus dimensiones verticales, su distribución arquitectónica.

Objetivos

Objetivo General

Cuantificar los rendimientos y productividad en elementos estructurales de concreto reforzado en edificios modulares en altura.

Objetivos Específicos

1. Cuantificar la productividad de la mano de obra en labores de confección y colocación de refuerzo de acero.
2. Obtener rendimientos de la colocación y confección de refuerzo de acero en elementos estructurales.
3. Cuantificar el rendimiento de mano de obra en el proceso de colocación y remoción de formaleta.
4. Cuantificar el rendimiento de la mano de obra en el proceso de colado y vibrado del concreto.
5. Generar un banco de datos que permita mostrar de forma ordenada los resultados obtenidos.
6. Determinar qué factores influyen en la productividad de la mano de obra en procesos constructivos en este tipo de edificaciones.

Metodología

Muestreo del Trabajo

Para la consecución de los objetivos propuestos se realizó una investigación de las diferentes técnicas de medición del trabajo, que pudieran ser utilizadas en un proyecto de construcción. Por lo que se inició un proceso de selección y estudio, mediante la constante consulta de fuentes y expertos en el tema a fin de obtener la opción que se adaptara a las necesidades del proyecto. Basados en dicho análisis se escogió la técnica de muestreo del trabajo.

Aunque varias de las técnicas estudiadas podían dar los mismos resultados que el muestreo del trabajo, se eligió por la rapidez y el menor costo que acarrea su utilización. Además porque se acopla perfectamente al tiempo de realización de la práctica y se adecua a características peculiares del proyecto, tales como una población numerosa y la aleatoriedad de sus mediciones.

El primer paso consiste en poner un objetivo al estudio, es decir, se debe conocer con exactitud a cuál interrogante se quiere dar respuesta. En este caso específico se optó por tomar varios subprocesos de la confección de estructuras de concreto en forma monolítica para intentar cuantificar el rendimiento de los subcontratistas involucrados.

Por lo general, en construcción la fuerza laboral es numerosa y en 6-30 no es la excepción, puesto que la sumatoria de los diferentes subcontratistas supera las 300 personas. Sin embargo, manejar un volumen de datos como ese, puede ser una tarea casi imposible para una sola persona, por eso, se toma una parte de esta población para que pueda generar un patrón representativo de la totalidad.

Para la elaboración del proyecto, como se contemplaba la confección de estructuras de concreto, se tomó la decisión de medir la totalidad de los empleados encargados de la confección de estructuras de acero, la colocación

de la formaleta y del colado del concreto; en otras palabras una cuadrilla de unas 70 personas para todo lo referente al refuerzo, mientras que un grupo de 27 personas para el encofrado, que a su vez son los encargados del colado de concreto, con una reducción del personal del 50% para la segunda actividad.

Una vez realizado esto, se procede a un análisis detallado de todas las actividades que se observan en el frente de trabajo, tratando de dividir la tareas de forma sistemática, sin dejar por fuera ninguna de ellas, y organizarlas en un esquema que siga el proceso normal de trabajo. De ahí se extraen las actividades que se evaluarán en una observación; este conjunto debe seguir un orden lógico, para poder confeccionar una tabla que nos permita registrarlas, clasificando aquellas que sean productivas y las que no lo son. Además de datos importantes como la fecha, la hora de realización, las condiciones, el número de observación, el proceso observado y la persona que realiza la medición de campo.

Con esta tabla se pueden realizar dos labores importantes para el muestreo: primero, se pueden poner casillas adicionales para evaluar los porcentajes de productividad e improductividad de cada observación, y con el conjunto se van estimando promedios de cada uno de éstos parámetros. En forma paralela es la herramienta que facilitará la extracción de datos de campo. Sin embargo, pierde cierto valor, cuando se hace muy extensa, pues si se intenta registrar lo que ocurre en un instante, no es fácil encontrar la actividad cuando el frente de trabajo se comporta con una dinámica veloz. De ahí que se recomendó entrenar la vista, para intentar hacer conteos mentales por sectores más pequeños, registrar y así continuamente. En dado caso se optó por hacer un registro fotográfico, incluso en video, con el cual se puede mover de

forma más ágil por el frente de trabajo y luego se hace un conteo basado en la evidencia gráfica.

Como este procedimiento se diseñó para su uso en actividades industrializadas, hay que tomar ciertas precauciones para su aplicación. Primero la cantidad de actividades puede ser complicada de manejar, por eso se debe recurrir a otros métodos, como un registro fotográfico, el cual parece mucho más efectivo, pues retrata la realidad en un instante dado. En el caso de la tabla presenta problemas primero porque el frente de trabajo en la construcción es realmente sucio y la tabla tiende a mancharse o mojarse haciendo difícil una posterior lectura. Pero el principal problema se presenta, cuando los empleados se percatan con facilidad de la tarea de la persona que está tomando la muestra y tienden a mejorar el ritmo de trabajo, lo cual impide la toma de una sección de la realidad, pues aunque es del conocimiento de todos los empleados la labor del ejecutor, este cambio de actitud no refleja el comportamiento habitual.

Después se procede a estimar la cantidad de observaciones necesarias, para alcanzar los estándares estadísticos predispuestos con la finalidad de darle la validez que respalden los resultados obtenidos. En caso de no poder completar las observaciones necesarias se pueden utilizar las fórmulas en forma inversa para determinar los porcentajes de error y la confiabilidad del estudio que se logro obtener.

También resulta útil, para mantener cierta uniformidad en la toma de datos, el que se diseñe una ruta común, sin importar cuál sea el frente de trabajo en ese momento, se debe mantener esta ruta de observación, pues permitirá, además de "entrenar el ojo", deducir el proceder del personal para el acarreo de material, las rutas de acceso y evacuación de los espacios de trabajo, que podrían ser un factor que influya en forma directa sobre la labor que se realiza.

Otro aspecto de importancia, sería el hecho de que los procesos en construcción se mueven realmente rápido y, por ende, una determinada tarea tiene un espacio de tiempo reducido para su ejecución. Por lo tanto, las observaciones no necesariamente tienen un carácter totalmente aleatorio, pues la toma al azar debe hacerse en el periodo en que cierta actividad está en ejecución o, de lo contrario no se podrán obtener datos de ella.

Con todos todo el estudio de actividades se realiza un diagrama de actividades que debe tener presente hasta la tarea más pequeña, pues puede jugar un papel determinante en el progreso de la obra y debe tratar de mantener una nivel de estratificación, adecuado, debido a que si se intenta hilar muy fino, se pierde tiempo en la ejecución e implementación del trabajo de campo en un aspecto que puede no tener mayor relevancia.

La explicación de esta metodología no se realizó en forma específica para ninguno de los procesos, pues todos tienen el mismo proceder de toma y procesamiento de datos

Rendimiento

Como herramienta adicional al muestreo de trabajo se tiene la obtención de rendimientos, la cual, si bien es cierto es un procedimiento bastante sencillo, no es más que una relación entre el trabajo producido y el tiempo que requirió su elaboración. Es importante decir que se debe implantar una estandarización de los métodos, recursos y circunstancias que lo rodean para que pueda ser aplicado como un instrumento efectivo de parametrización laboral.

La obtención de rendimientos se puede hacer por tareas específicas o por tramos de procesos; dependiendo el grado estratificación que se requiera, pues muchas veces se requiere estudiar actividades en específico. En este caso, se hizo por tramos debido al abundante número de tareas que componen los diferentes procesos, especialmente porque muchas son tan pequeñas se puede perder de vista el momento que termina una y se inicia la próxima. Por tales motivos se hizo la siguiente fragmentación: para el acero se tomó el rendimiento en el banco de trabajo, de la colocación de acero en losa y en muros por aparte, pues ninguno de estos tienen simultaneidad debido al método constructivo del Condominio 6-30. En cuanto a la formaleta se subdividió el proceso en dos secciones: la colocación y el desencofrado, las cuales, a pesar de llevarse a cabo en forma paralela, pueden diferenciarse fácilmente. En el caso del colado de concreto, no hay forma de dividirse en subprocesos pues sus actividades ocurren en

forma compartida en el mismo lapso, lo que dificulta su segmentación.

Tomando como base los diagramas de los diversos procesos realizados para el muestreo de trabajo, se hace referencia al hecho de que los tiempos estimados tomarán el periodo requerido para la completar la totalidad de las labores, incluyendo todos los atrasos e interrupciones que se puedan presentar, pues son parte del trabajo cotidiano; excluyendo únicamente los tiempos de las horas de comida estipulados por la empresa para todos los contratistas por igual. Por lo tanto, en esta medición se decidió no tomar reducciones o estimaciones de suplementos para los tiempos, pues no reflejarían el comportamiento real del personal en las condiciones normales de trabajo. Aquí es importante acotar que los únicos tiempos muertos que fueron restados al establecimiento de rendimientos, se refieren a los tiempos de espera de concreto, pues estos retrasos nos son atribuibles al personal, debido a que son ajenos a su control y no se presentan por problemas de programación o mala praxis.

Ahora con la finalidad de generar un patrón de medida, se deben analizar las labores, para ver cuál es la mejor forma de cuantificarlas. De dicho análisis se estimó que la cuantía de acero se calcularía en toneladas, ya que el proveedor y el contratista establecieron esa unidad como mecanismo de pago. En el caso de la formaleta se utilizaron los metros cuadrados, pues todos los paneles tienen diferente medida y función y no podía ser utilizado como elemento de trabajo y para el concreto se utilizaron los metros cúbicos, pues es una medida estandarizada para la compra y dosificación del mismo.

Como el Condominio 6-30 utiliza el sistema constructivo de estructuras monolíticas, el porcentaje de acero en cada elemento es sumamente alto y su conteo manual se hace complejo, se optó por estimar una cuantía por metro cúbico, en los diferentes pisos, tomando en cuenta cuáles elementos son los más repetitivos, es decir, qué columnas, vigas y muros estaban presentes en mayor cantidad; y basándose en su configuración de refuerzo se puede obtener una medida bastante aproximada a la realidad.

Mientras que para el caso del concreto y la formaleta, la estimación de material se hace bastante más sencilla, pues con la cubicación hecha para el pedido al proveedor de concreto se

sabe con exactitud la cantidad de metros cúbicos que se requieren y en cuanto a la formaleta se estima por metros cuadrados el área que debe abarcar, tanto de muros como de losa, según los planos del sitio.

Como pieza fundamental del sistema de unidades y el cual permite hacer verdaderamente un análisis profundo de los rendimientos se halla la regularidad en planta que presenta el edificio a lo largo de su extensión, para ser más específicos, del 2do al 5to piso se guarda un patrón de ocho apartamentos por nivel, mientras que del 6to piso hasta el 14vo se tiene una configuración de seis apartamentos por nivel. Hay que decir que este cambio no es significativo en cuanto a lo concerniente a la configuración de acero y colado de concreto, pues estas adaptaciones se hicieron en divisiones livianas partiendo del diseño original, el cual poseen los niveles del 6 al 14, con variaciones mínimas entre ellos. La figura 6 muestra la distribución arquitectónica típica, la cual cuenta con seis unidades, cada una de ellas cuenta con tres dormitorios, dos baños, cocina, cuarto de televisión, sala y cuarto de servicio.

Por la metodología de trabajo adoptada para la construcción de la torre, se trabaja en un apartamento a la vez, que se le llamará sección de chorrea y se utilizará como patrón de medida para las comparaciones de rendimientos ya que la cantidad de recursos materiales y humanos desplegados para su elaboración no presenta grandes cambios. Además cada apartamento presenta su gemelo en forma paralela y esto también es un factor que puede ayudar para determinar diferencias más precisas.

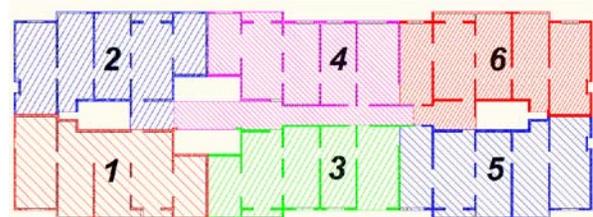


Figura 6. Planta Arquitectónica Típica (anexo 1)

Entonces en promedio se tiene que cada apartamento consume 4.46 toneladas de acero para el refuerzo de muros y unas 1.62 toneladas para cubrir la losa.

Por otra parte, cada unidad cuenta con unos 55 m. lineales en paredes y un área de 130 m² aproximadamente.

Con muros que van variando sus grosores entre 15 cm. y 20 cm; y una losa con 14 cm de peralte se obtiene que cada chorroa en promedio requiere 42.8 m³ de concreto.

Ahora con los datos de tiempo y materiales se puede estimar el rendimiento que se tiene de las diversas actividades dividiendo la cantidad de material entre el tiempo requerido, pero si se requiere su equivalencia en horas-hombre (hrs-h) se multiplica el tiempo por el número de empleados y se divide por el volumen de trabajo realizado. Para esta caso en específico se hizo principal énfasis en la cantidad de materiales colocado entre el tiempo, por requerimientos propios de la empresa, pues los subcontratos solo contemplan la mano de obra, mientras que los materiales corren por su cuenta, por lo que esta unidad de medida es la que más se amolda a su sistema de trabajo.

Sin embargo, este número no tendría ninguna validez, si no se hace un análisis estadístico para determinar la validez y veracidad, esto siguiendo la misma metodología generada para el muestreo del trabajo, en el caso de rendimiento, también es de vital importancia hacer referencia a las condiciones en las cuales fueron establecidas todas y cada una de las mediciones, de los materiales, herramientas y personal aplicado en la labor en estudio, pues así podrán valorar de mejor manera la aplicabilidad en otro proyecto.

A estas condiciones generales que abarcan el sitio de construcción, el método constructivo (especificadas previamente en este documento), hay que adicionarles factores propios del proyecto y las diferentes labores.

En primer lugar hay que decir que 6-30 está ubicado en medio de la ciudad, por eso el personal no requiere un campamento o instalaciones para su alojamiento. A esto añadirle que el Condominio tiene fácil acceso a los diferentes servicios públicos (agua, luz, teléfono).

Por otra parte, se cuenta con un ingeniero en el área de seguridad ocupacional así se implantan normas de salud y se minimizan los riesgos para que el personal pueda trabajar con toda comodidad y seguridad.

Por ser una estructura en altura, se han habilitado servicios sanitarios en varios niveles a fin de disminuir el tiempo requerido para ir al baño.

Como en el frente de trabajo se fusiona el personal de varios contratistas se ha dispuesto la

utilización de cascos de diferentes colores para hacer la distinción del personal según su función.

Para el trazado de paredes se tiene un profesional en Topografía que ubica los ejes principales para que el maestro de obras principal pueda hacer el trazado de las diferentes paredes y vanos estipulados en los planos.

Además para la supervisión general se tiene un ingeniero residente que junto con el maestro de obras general están a cargo de la estructura de la torre por completo y cada subcontratista tiene un capataz, sino es que él mismo realiza dicha labor.

En el caso de la confección de elementos de acero, hay que tener en cuenta el hecho de que para cuando se hicieron las mediciones, ya el personal tenía varios meses de trabajar en el proyecto, por lo cual ya tenían un ritmo de trabajo definido y un conocimiento claro de los diferentes dispositivos por construir, sin dejar de lado la experiencia previa por gran parte del personal de esta sección. Otro aspecto es que el banco de trabajo se encuentra en la base del edificio, en sus instalaciones también alberga la bodega de la materia prima, lo que disminuye los tiempos de transporte y selección de acero.

En cuanto a la colocación del acero ya se ha mencionado sobre la gran densidad de éste que posee todo el edificio, tanto en losas como en muros, ello complica la confección de las diferentes armaduras, puesto que tienen espaciamientos diferentes, sin dejar de lado que hay una gran diversidad en el dimensionamiento de los aros, pues van desde longitudes de 10 cm hasta los 180 cm. de largo. Por otra parte, la varilla #3 en grado 60 de 12 metros de longitud es el producto más utilizado en todo el edificio.

En el caso de la formaleta cabe mencionar que posee una modulación realizada por la empresa proveedora del sistema; sin embargo, no cuenta con paneles especiales o hechos a la medida, sino que utiliza una configuración de los mismos paneles que ofrece normalmente a todos sus clientes. Un aspecto que si puede influir en forma directa sobre el rendimiento lo constituye el hecho de que el personal recibió una capacitación por parte de Forsa S.A. para el aprendizaje de las técnicas de armado del sistema y para el momento en que hicieron las mediciones, ya el personal había establecido un ritmo de trabajo basado en la habilidad adquirida por medio de la práctica.

En la colocación de concreto, la cuadrilla

se divide las tareas en parejas, sin importar si la chorro se va hacer mediante bomba con brazo telescópico o con bomba estacionaria. Dividiéndose de la siguiente manera: tres personas para el manejo de la manguera, que incluye no sólo el movimiento de sector, sino el desacople de secciones extra. Otras dos parejas se encargan del manejo de dos vibradores para acomodar mejor el concreto entre la congestión de acero y en forma exterior otra pareja golpea la formaleta con mazos de goma para no dañarla.

Para la distribución del concreto también se tienen dos parejas que realizan esta labor con una pala sobre la losa y otra pareja se encarga de la nivelación y del planchado para finalizar con el acabo del concreto.

Todas estas particularidades deben especificarse dentro de los rendimientos, para procurar su utilización en otros proyectos como una herramienta útil de estimación de tiempos.

Sin embargo, la estimación de tiempos que realiza la técnica de rendimientos puede tener aún una mayor utilidad si se combina con los resultado del muestreo del trabajo, pues permite conocer con cierto grado de precisión los tiempos de las diferentes actividades que componen un proceso, pues al multiplicar el porcentaje de tiempo de una tarea por el tiempo requerido por la totalidad de funciones, se puede obtener un dato estimado bastante apegado a la realidad y de ahí se pueden derivar otros beneficios tal y como la distribución del personal, la dosificación de cargas de trabajo y los periodos de tiempo de uso de la maquinaria o herramienta.

Resultados

Muestreo del Trabajo

Banco de Armadura



Figura 5. Diagrama del Proceso de Fabricación de Amarras (Creado en Microsoft Word 2007)



Figura 6. Diagrama de la Fabricación de Elementos de Acero (Creado en Microsoft Word 2007)

Colocación de Refuerzo de Acero



Figura 7. Diagrama del Proceso de Colocación de Refuerzo de Acero en Muros (Creado en Microsoft Word 2007)



Figura 8 Diagrama del Proceso de Colocación de Refuerzo de Acero en Losa (Creado en Microsoft Word 2007)

Colocación de Formaleta



Figura 9. Diagrama del Proceso de Colocación de Formaleta
(Creado en Microsoft Office 2007)

Desencofrado de Muros



Figura 10 - Diagrama del Proceso de Desencofrado de Muros
(Creado en Microsoft Word 2007)

Desencofrado de Losa



Figura 11- Diagrama del Proceso de Desencofrado de Losa
(Creado en Microsoft Word 2007)

Colado de Concreto

COLADO DE CONCRETO

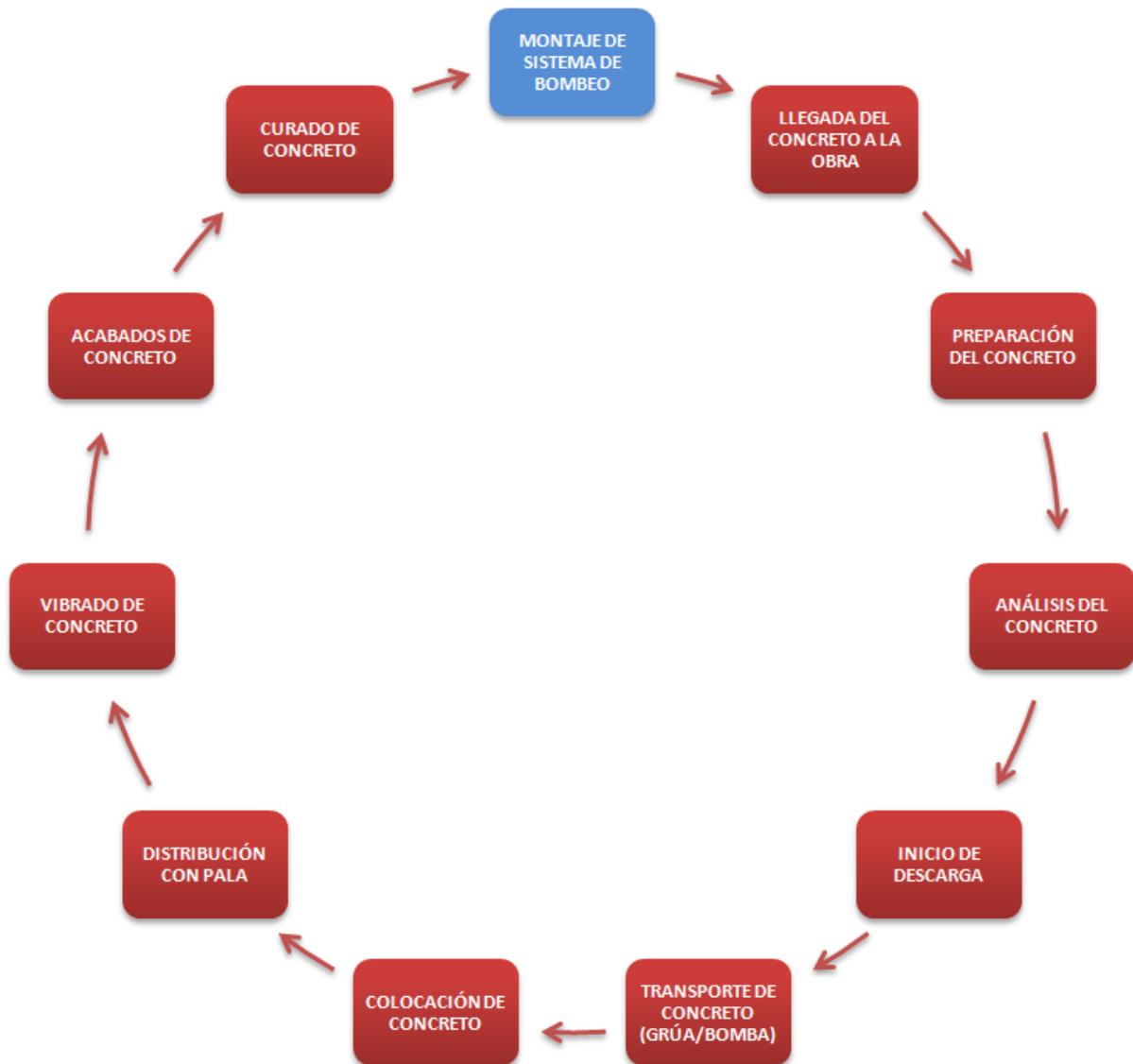


Figura 12. Diagrama del Proceso de Colado de Concreto
Creado con Microsoft Word 2007)

Productividad

Banco de Confección de Armadura

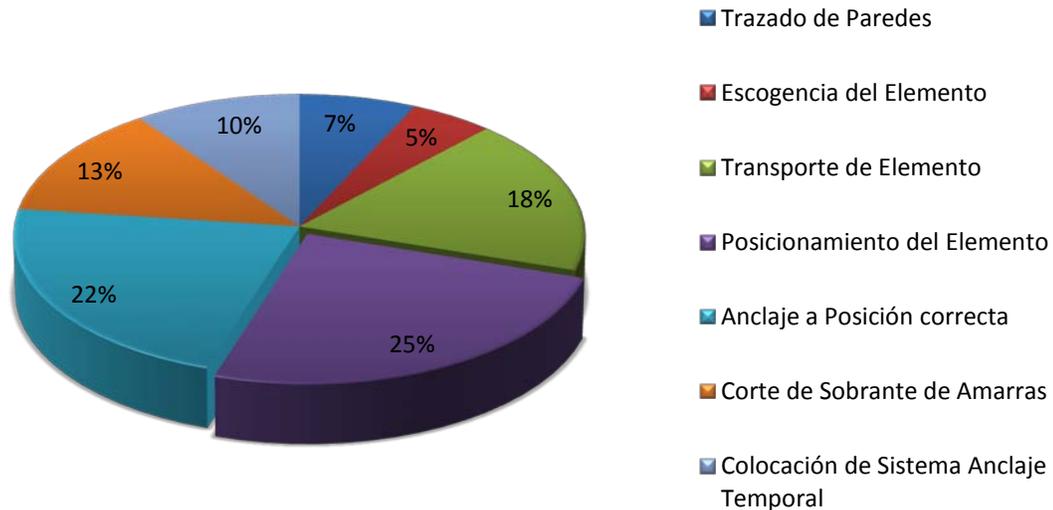
<i>Tabla 3. Descripción Estadística de tiempos en la confección de armadura</i>	
Porcentaje de tiempo productivo	89.42%
Desviación Estándar (σ)	0.056
Número estimado de observaciones	146
Número de observaciones realizadas	100
Error Inicial Estimado	5.00%
Error Real	6.03%

Colocación de Refuerzo en Muros

<i>Tabla 5. Descripción Estadística de tiempo para la colocación de refuerzo en muros</i>	
Porcentaje de tiempo productivo	74.05%
Desviación Estándar (σ)	0.068
Número estimado de observaciones	296
Número de observaciones realizadas	100
Error Inicial Estimado	5.00%
Error Real	8.59%

Se desestimo la confección del gráfico de los porcentajes de las tareas debido a que las actividades de este proceso, no se puede definir el final de una actividad y el inicio de la próxima.

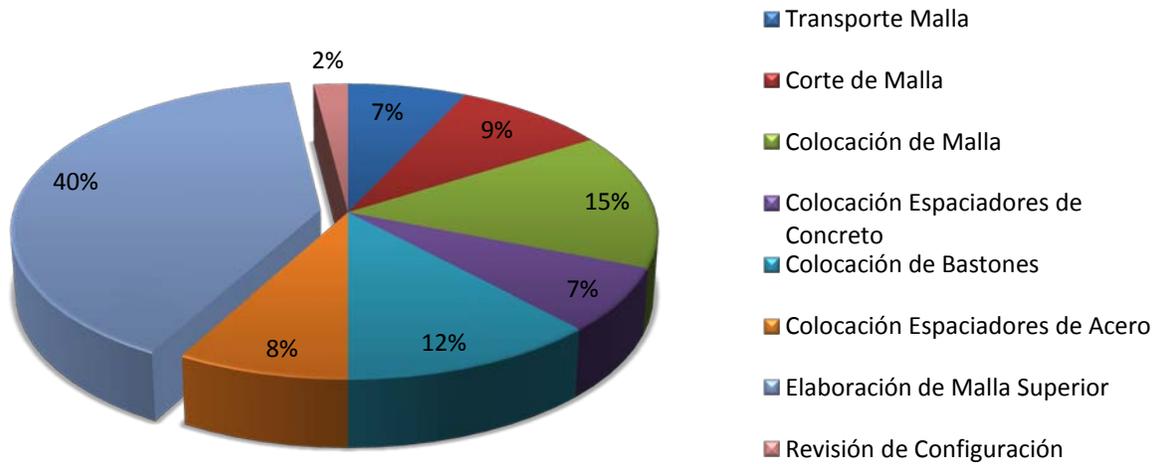
Gráfico 1. Porcentajes por actividad en la colocación de acero en muros



Colocación de Refuerzo en Losa

<i>Tabla 7. Descripción Estadística de tiempo en la colocación de refuerzo en losa</i>	
Porcentaje de tiempo productivo	85.50%
Desviación Estándar (σ)	0.062
Número estimado de observaciones	191
Número de observaciones realizadas	100
Error Inicial Estimado	5.00%
Error Real	6.90%

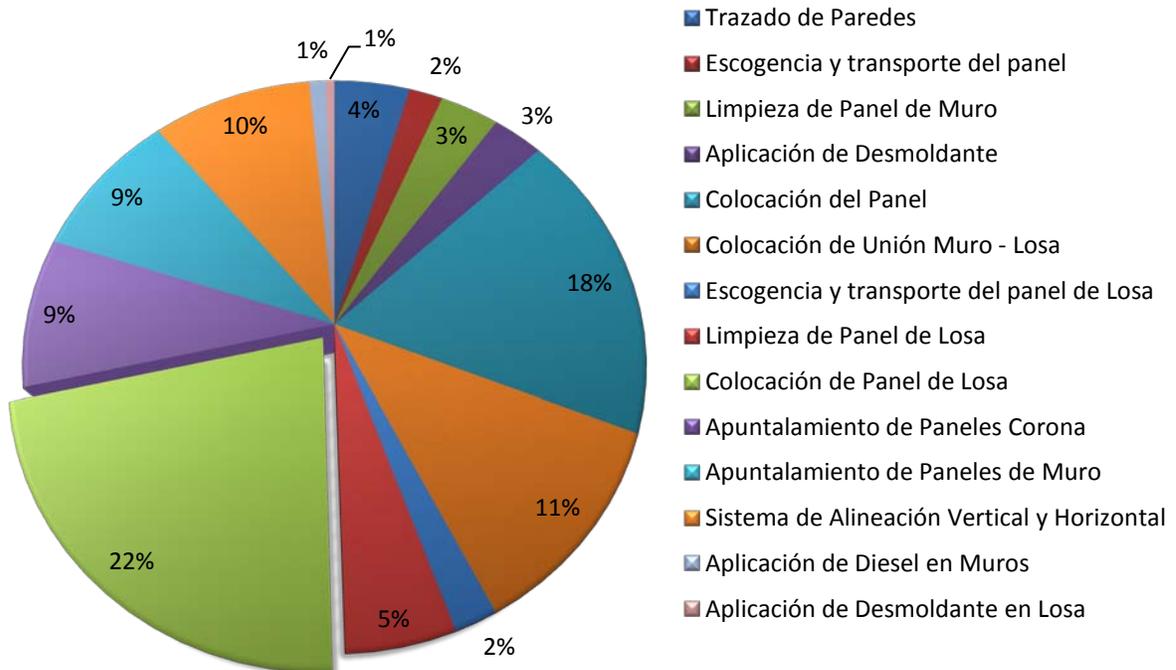
Gráfico 2. Porcentajes por actividad de la Colocación de Acero en Losa



Colocación de Formaleta

Tabla 9. Descripción Estadística de colocación de tiempos en la colocación de Formaleta	
Porcentaje de tiempo productivo	83.78%
Desviación Estándar (σ)	0.064%
Número estimado de observaciones	209
Número de observaciones realizadas	100
Error Inicial Estimado	5.00%
Error Real	7.23%

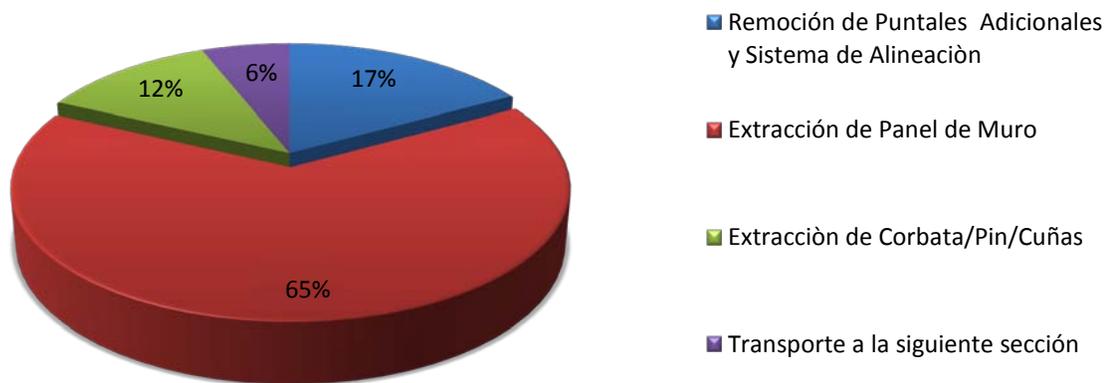
Gráfico 3. Porcentajes por actividad para la Colocación de Formaleta



Desencofrado

Tabla 11. Descripción Estadística de tiempos para el Desencofrado	
Porcentaje de tiempo productivo	87.54%
Desviación Estándar (σ)	0.060
Número estimado de observaciones	168
Número de observaciones realizadas	100
Error Inicial Estimado	5.00%
Error Real	6.47%

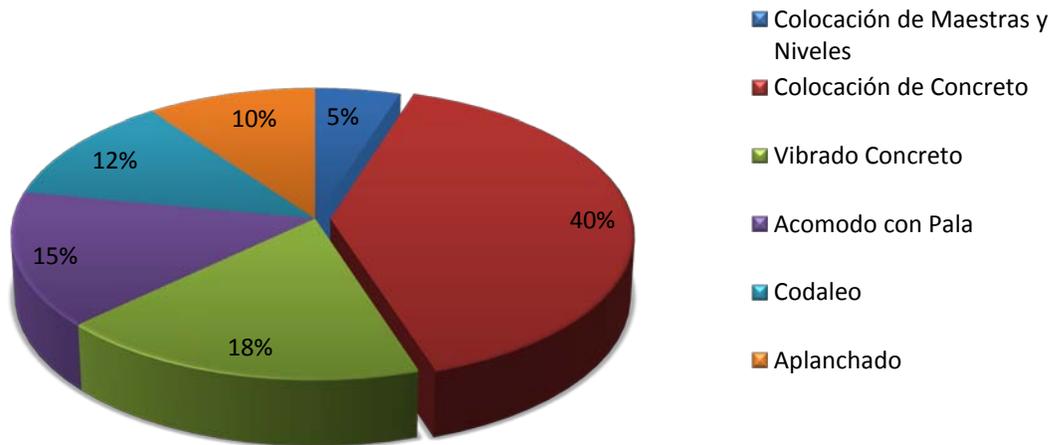
Gráfico 4. Porcentajes por actividad en el desencofrado



Colado de Concreto

<i>Tabla 13 - Descripción Estadística de tiempo para la colocación de concreto</i>	
Porcentaje de tiempo productivo	86.46%
Desviación Estándar (σ)	0.060
Número estimado de observaciones	180
Número de observaciones realizadas	100
Error Inicial Estimado	5.00%
Error Real	6.71%

Gráfico 5. Porcentaje por actividades en el Colado de Concreto



Estudio de tiempos por actividad

Banco de Confección de Armadura

Tabla 15. Descripción Estadística de tiempos de Confección de Armadura	
Tiempo Promedio (X) (hrs)	0.76
Desviación Estándar (σ)	0.08
Número estimado de observaciones	11
Número de observaciones realizadas	50
Error Inicial Estimado	5.00%
Error Real	2.97%

*Tiempo para procesar 100 kg de acero por una cuadrilla

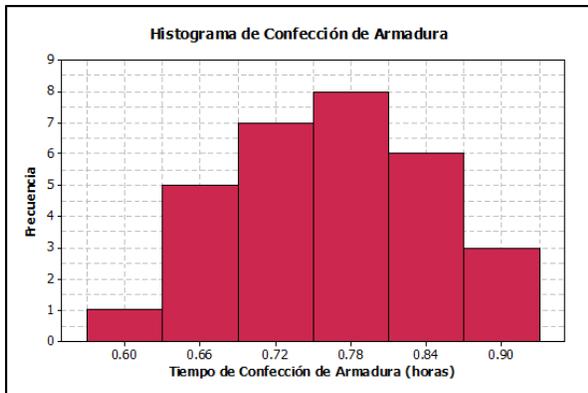


Gráfico 6. Histograma de Tiempos del Banco de Armadura

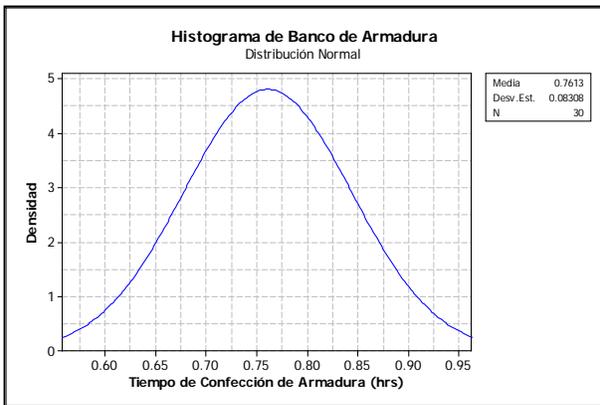


Gráfico 7. Distribución Normal de Tiempos del Banco de Armadura

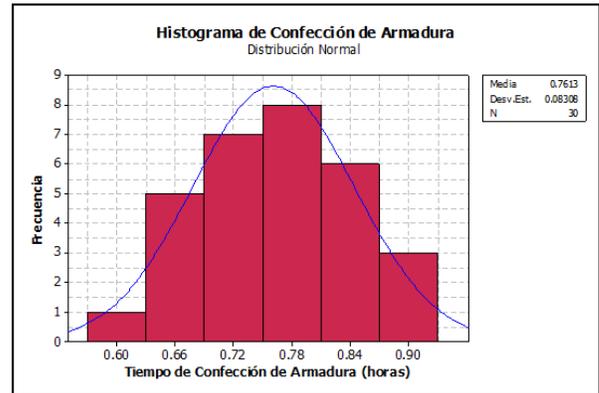


Gráfico 8. Histograma y Distribución Normal de Tiempos de Banco de Armadura

Colocación de Acero en Muros

Tabla. 17 Descripción Estadística de tiempos de Colocación de Acero en Muros	
Tiempo Promedio (X) (hrs)	24.66
Desviación Estándar (σ)	2.08
Número estimado de observaciones	6003
Número de observaciones realizadas	50
Error Inicial Estimado	5.00%
Error Real	57.71%

*Tiempo para colocar 4.4 ton de acero en promedio por un personal de 24 operarios y sus ayudantes.

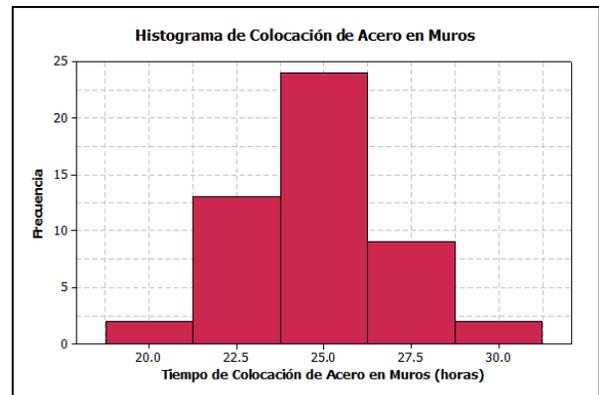


Gráfico 9. Histograma de Tiempos de Colocación de Acero en Muros

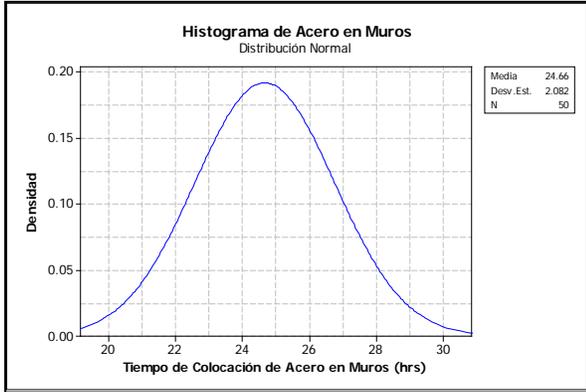


Gráfico 10. Distribución Normal de tiempos del Colocación de Acero en Muros

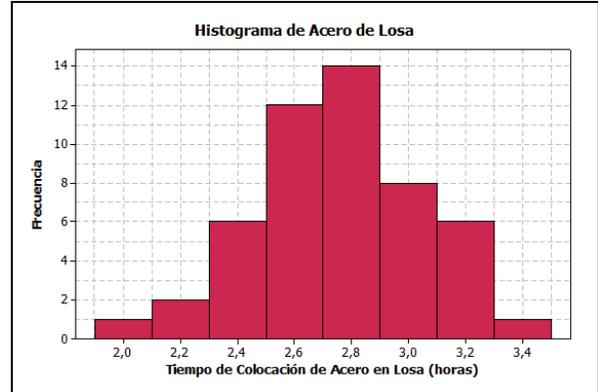


Gráfico 12. Histograma de Tiempos de Colocación de Acero en Losa

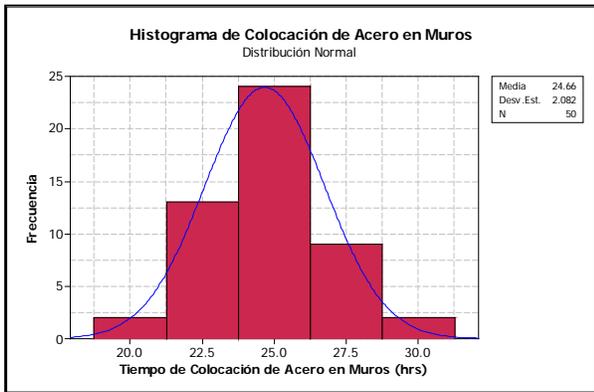


Gráfico 11. Histograma y Distribución Normal de Tiempos de Colocación de Acero en Muros

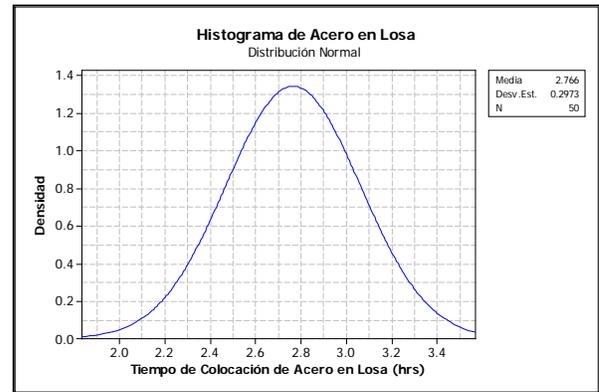


Gráfico 13. Distribución Normal de Tiempos de Colocación de Acero en Losa

Colocación de Acero en Losa

Tabla 19. Descripción Estadística de tiempos de Colocación de Acero en Losa	
Tiempo Promedio (X) (hrs)	2.77
Desviación Estándar (σ)	0.30
Número estimado de observaciones	110
Número de observaciones realizadas	50
Error Inicial Estimado	5.00%
Error Real	8.24%

*Colocación en promedio de 1.5 ton de acero en una losa con una densidad promedio de 9.7 kg/m²

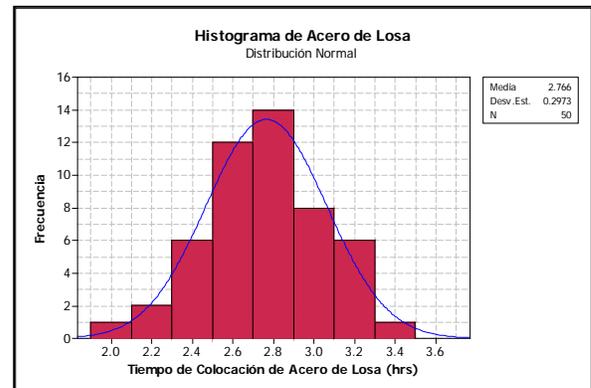


Gráfico 14. Histograma y Distribución Normal de Tiempos de Colocación de Acero en Losa

Colocación de Formaleta

Tabla 21. Descripción Estadística de tiempos de Colocación de Formaleta	
Tiempo Promedio (\bar{X}) (hrs)	4.63
Desviación Estándar (σ)	0.26
Número estimado de observaciones	113
Número de observaciones realizadas	50
Error Inicial Estimado	5.00%
Error Real	7.23%

*Tiempo promedio para la colocación de 415 m² de formaleta Forsa por un personal de 14 operarios y 13 ayudantes

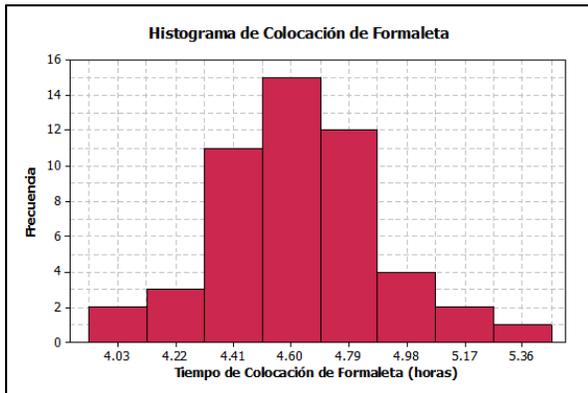


Gráfico 15. Histograma de Tiempos de Colocación de Formaleta

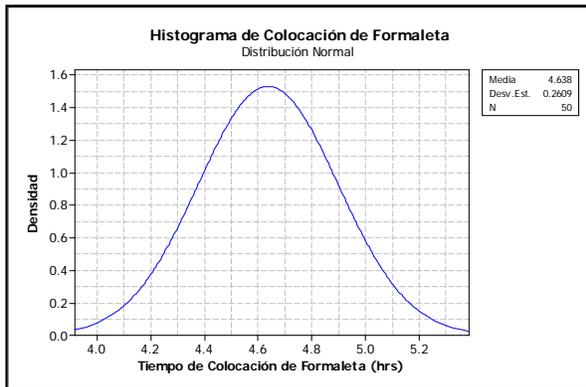


Gráfico 16. Distribución Normal de Tiempos de Colocación de Formaleta

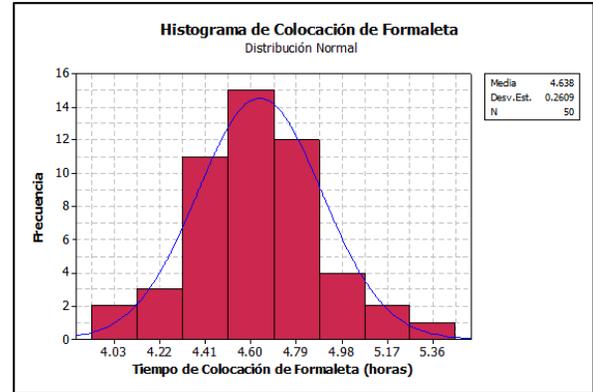


Gráfico 17. Histograma y Distribución Normal de Tiempos de Colocación de Formaleta

Desencofrado

Tabla 23. Descripción Estadística de tiempos de Desencofrado	
Tiempo Promedio (\bar{X}) (hrs)	2.40
Desviación Estándar (σ)	0.24
Número estimado de observaciones	80
Número de observaciones realizadas	50
Error Inicial Estimado	5.00%
Error Real	6.65%

Tiempo promedio para desacoplar en promedio 415 m² de formaleta Forsa por un personal de 14 operarios y 13 ayudantes

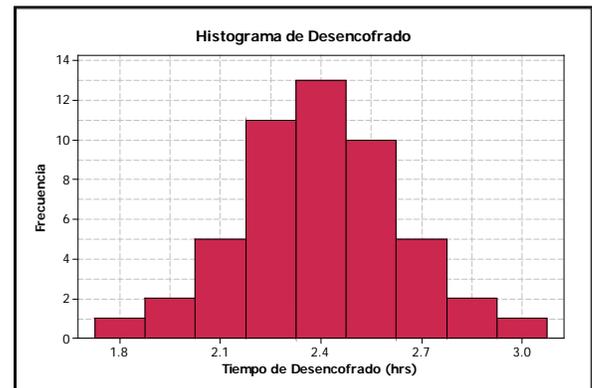


Gráfico 18. Histograma de tiempos de Desencofrado

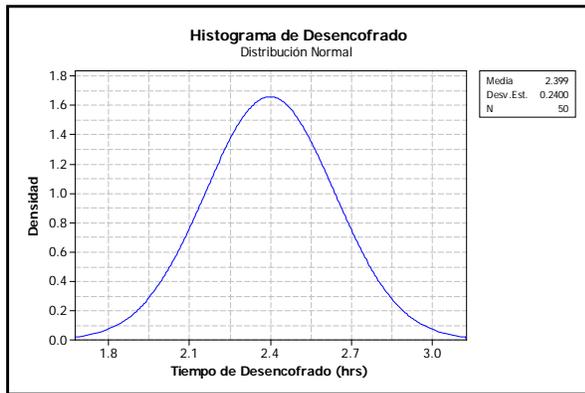


Gráfico 19 Distribución Normal de Tiempos de Desencofrado

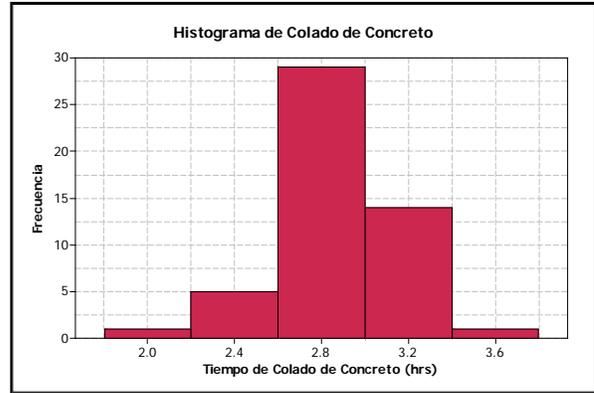


Gráfico 21. Histograma de Tiempos de Colocación de Concreto

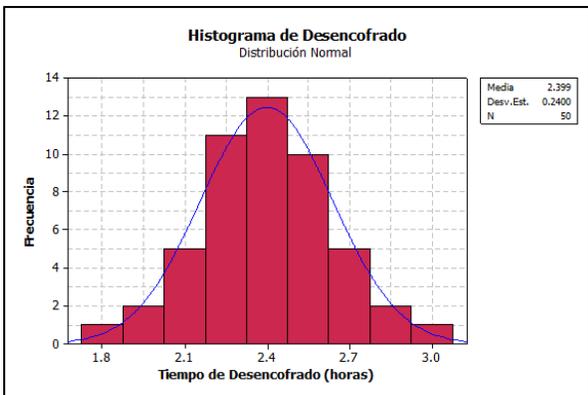


Gráfico 20. Histograma y Distribución Normal de Tiempos de Desencofrado

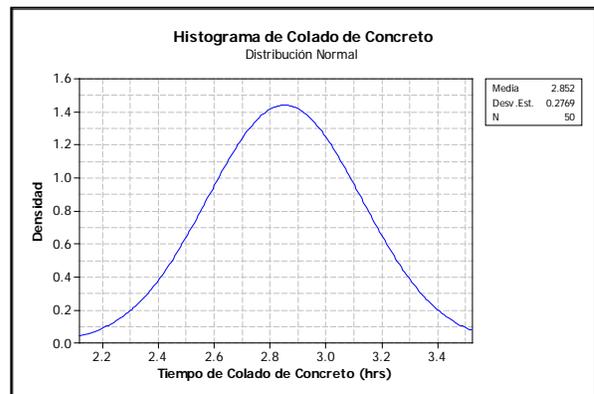


Gráfico 22. Distribución Normal de Tiempos de Colocación de Concreto

Colocación de Concreto

Tabla 25. Descripción Estadística de Tiempos de Colocación de Concreto	
Tiempo Promedio (X)(hrs)	2.85
Desviación Estándar (σ)	0.28
Número estimado de observaciones	90
Número de observaciones realizadas	50
Error Inicial Estimado	5.00%
Error Real	7.68%

Tiempo promedio de la colocación de concreto de 42.9 m³ en promedio por una personal de 14 operarios

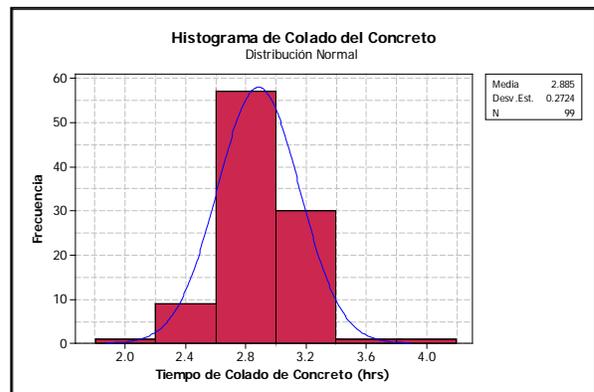


Gráfico 23. Histograma y Distribución Normal de Tiempos de Colocación de Concreto

Tabla Resumen de Datos de Tiempos por Actividad

<i>Tabla 26. Resumen de Datos Tiempo en Promedio por Actividad</i>				
	<i>Promedio</i>	<i>Promedio en Hrs</i>	<i>Desviación Estándar(σ)</i>	<i>% de Error</i>
<i>Acero en Losa</i>	2.77	2 hrs 46 min.	0.30	8.24%
<i>Formaleta</i>	4.64	4 hrs 38 min.	0.26	7.23%
<i>Acero en Banco</i>	0.76	0 hrs 45 min.	0.08	2.97%
<i>Acero en Muros</i>	24.66	24 hrs 39 min.	2.08	57.71%
<i>Desencofrado</i>	2.40	2 hrs 24 min.	0.24	6.65%
<i>Colado</i>	2.85	2 hrs 51 min.	0.28	7.68%

Tabla: Rendimiento del Banco de Armadura

<i>Tabla 27. Rendimiento Promedio del Banco de Armadura</i>	
Tiempo (hrs)	0.76
Cantidad de Acero procesado (ton)	0.100
Rendimiento (ton/hr)	0.131
Rendimiento (hrs-h/ton)	7.61

Tabla: Promedios de Rendimiento por sección en la colocación de refuerzo de acero en losa

<i>Tabla 29. Promedios por sección de Refuerzo de Acero en Losa</i>				
<i>Sección</i>	<i>Cantidad de Acero de Losa</i>	<i>Tiempo Promedio Acero Losa</i>	<i>Rendimiento Promedio</i>	<i>Rendimiento Promedio</i>
	<i>Ton</i>	<i>hr</i>	<i>Ton/hr</i>	<i>hrs-h/ton</i>
1	1.49	2.81	0.54	1.85
2	1.58	2.71	0.58	1.73
3	1.40	2.85	0.49	2.04
4	1.82	2.69	0.69	1.48
5	1.54	2.77	0.56	1.80
6	1.66	2.78	0.60	1.67

Tabla: Promedios de Rendimiento por sección en la colocación de refuerzo de acero en muros

<i>Tabla 31. Promedios por sección de colocación de refuerzo de acero en muros</i>				
<i>Sección</i>	<i>Cantidad de Acero de Losa</i>	<i>Tiempo Promedio Acero Losa</i>	<i>Rendimiento Promedio</i>	<i>Rendimiento Promedio</i>
	<i>Ton</i>	<i>hr</i>	<i>Ton/hr</i>	<i>hrs-h/ton</i>
1	24.65	4.57	0.18	5.44
2	23.77	4.53	0.19	5.21
3	24.36	4.73	0.20	5.09
4	25.28	4.22	0.17	6.00
5	24.13	4.47	0.19	5.42
6	25.34	4.44	0.18	5.72

Tabla. Promedios de Rendimiento por sección en la colocación y desencofrado de la formaleta

<i>Tabla 33. Promedio de Formaleta Por Sección de Colado</i>							
<i>Sección</i>	<i>Tiempo de Colocación de Formaleta</i>	<i>Cantidad de Formaleta</i>	<i>Rendimiento de Colocación de Formaleta</i>	<i>Rendimiento de Colocación de Formaleta</i>	<i>Tiempo Desencofrado</i>	<i>Rendimiento de Desencofrado</i>	<i>Rendimiento de Desencofrado</i>
	<i>Hrs</i>	<i>(m²)</i>	<i>(m²/hr)</i>	<i>hrs-h/m²</i>	<i>(hrs)</i>	<i>m²/hr</i>	<i>hrs-h/m²</i>
1	4.73	414.39	87.80	0.0115	2.22	186.78	0.012
2	4.57	419.50	92.30	0.0108	2.42	176.10	0.014
3	4.70	415.07	88.45	0.0113	2.45	171.16	0.015
4	4.68	418.60	89.89	0.0112	2.43	173.24	0.014
5	4.62	409.71	88.99	0.0113	2.44	168.52	0.015
6	4.51	418.58	93.14	0.0108	2.47	170.93	0.015

Tabla: Promedios de Rendimiento por sección en la colocación de concreto

<i>Tabla 35. Promedios de colado de concreto por sección</i>					
<i>Sección</i>	<i>Volumen Teórico</i>	<i>Volumen Colocado</i>	<i>Tiempo de Colado</i>	<i>Rendimiento</i>	<i>Rendimiento</i>
	<i>(m³)</i>	<i>(m³)</i>	<i>(hrs)</i>	<i>(m³/hr)</i>	<i>hrs-h/m³</i>
1	42.22	42.67	1.47	9.14	0.035
2	42.11	42.67	2.11	12.36	0.049
3	40.11	41.44	2.87	14.56	0.069
4	45.67	46.72	2.86	16.35	0.061
5	41.00	42.39	3.00	14.23	0.071
6	41.67	41.44	2.91	14.32	0.070

Tabla: Tabla Resumen de Productividad y Rendimientos por Actividad

<i>Tabla 36. Tabla Resumen de Productividad y Rendimientos Promedio por Actividad</i>			
<i>Actividad</i>	<i>Rendimiento</i>		<i>Productividad</i>
Banco de Armadura	0.131 ton/hr	0.0076 hrs-h/ton	89.4%
Colocación de Acero en Muros	0.184 ton/hr	0.0054 hrs-h/ton	74.1%
Colocación de Acero en Losa	0.587 ton/hr	0.0017 hrs-h/ton	85.5%
Colocación de Formaleta	90.12 m ² /hr	0.0112 hrs-h/m ²	83.7%
Desencofrado	174.4 m ² /hr	0.0141 hrs-h/m ²	87.3%
Colocación de Concreto	13.52 m ³ /hr	0.0059 hrs-h/m ³	86.4%

Rendimiento por Secciones

Colocación de Acero en Losa

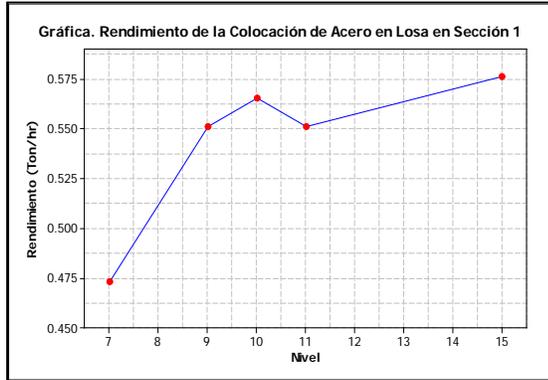


Gráfico 24. Rendimiento de la colocación de acero en losa en la sección 1.

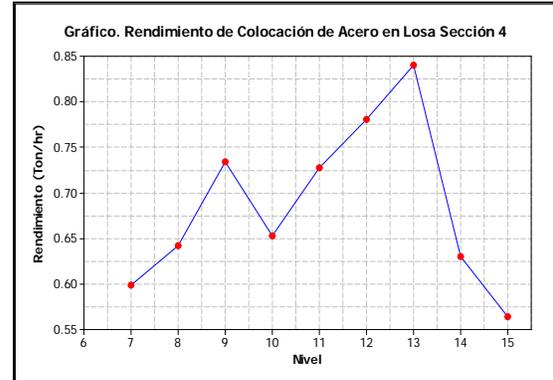


Gráfico 27. Rendimiento de la colocación de acero en losa en la sección 4

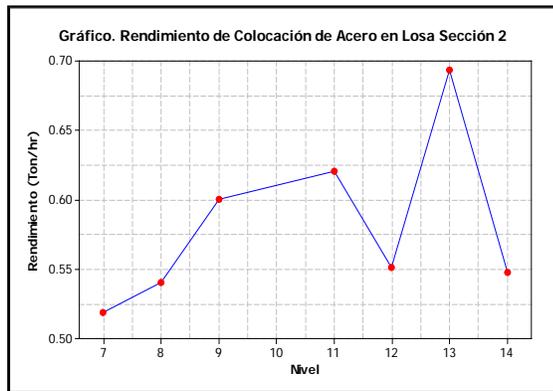


Gráfico 25. Rendimiento de la colocación de acero en losa en la sección 2

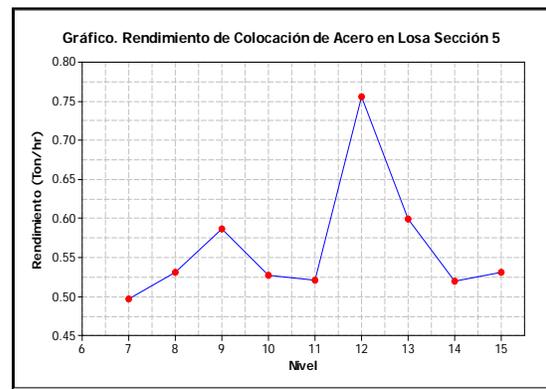


Gráfico 28. Rendimiento de la colocación de acero en losa en la sección 5

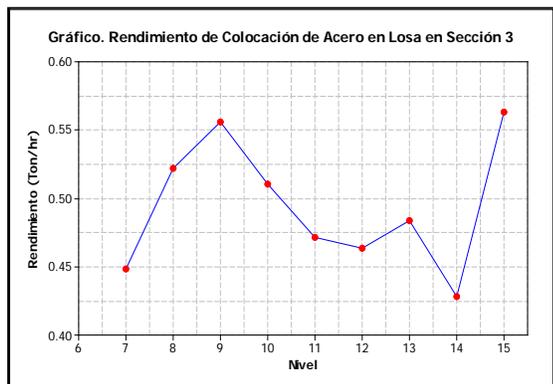


Gráfico 26. Rendimiento de la colocación de acero en losa la sección 3

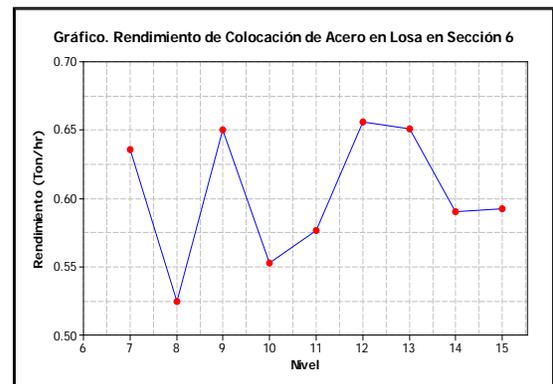


Gráfico 29. Rendimiento de la colocación de acero en losa en la sección 7

Colocación de Acero en Muros

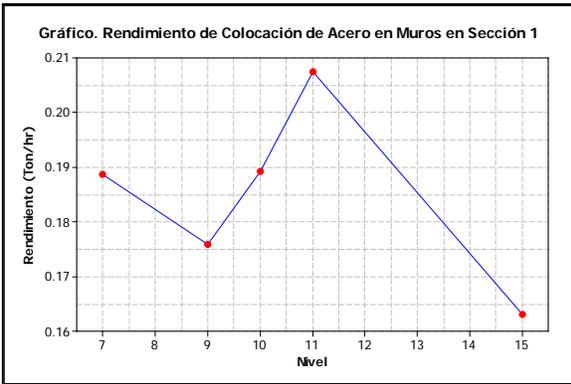


Gráfico 30. Rendimiento de la colocación de acero en muros en la sección 1

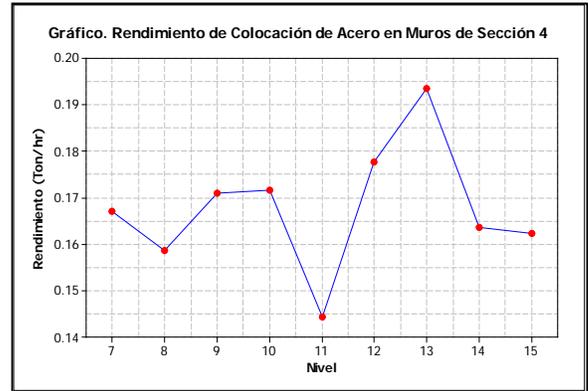


Gráfico 33. Rendimiento de la colocación de acero en muros en la sección 4

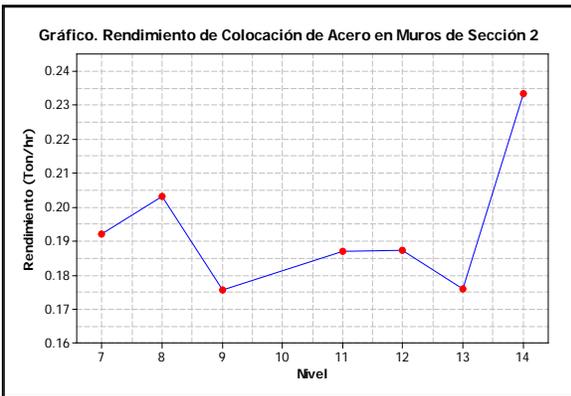


Gráfico 31. Rendimiento de la colocación de acero en muros en la sección 2

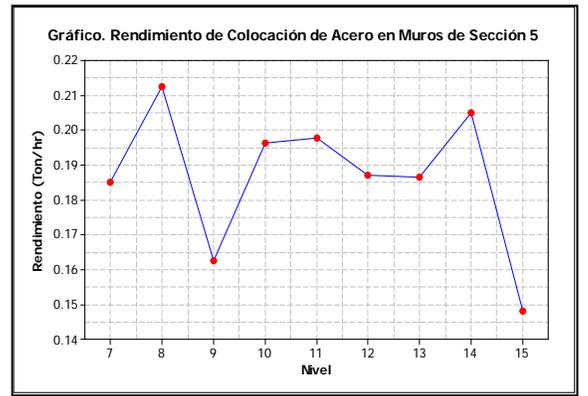


Gráfico 34. Rendimiento de la colocación de acero en muros en la sección 5.

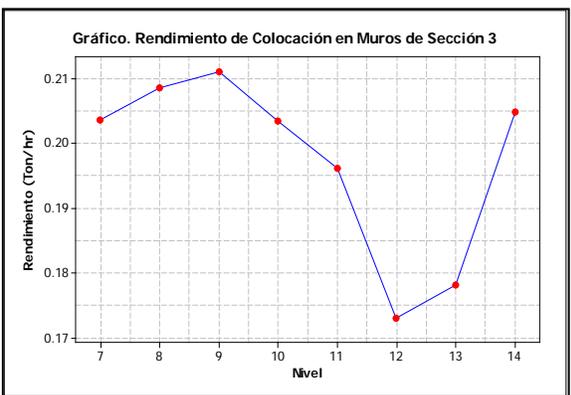


Gráfico 32. Rendimiento de la colocación de acero en muros en la sección 3

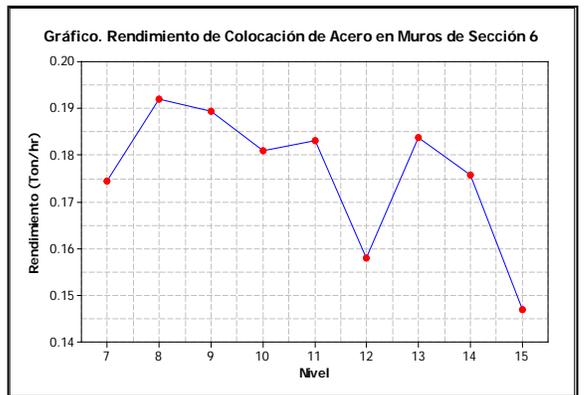


Gráfico 35. Rendimiento de la colocación de acero en muros en la sección 6

Colocación de Formaleta

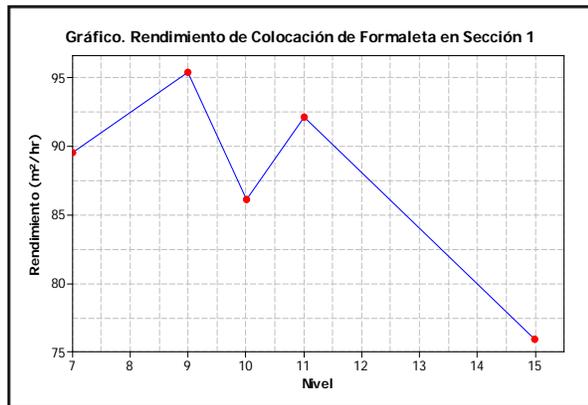


Gráfico 36. Rendimiento de la colocación de formaleta en la sección 1

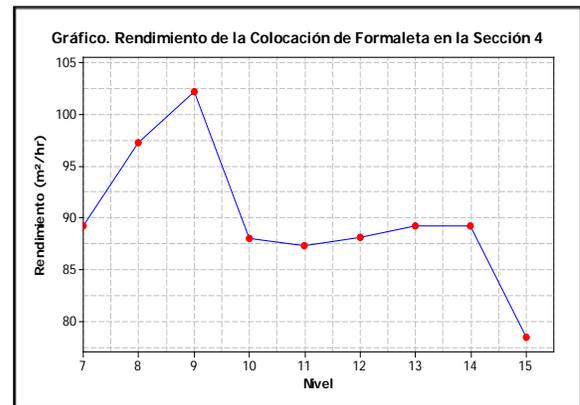


Gráfico 39. Rendimiento de la colocación de formaleta en la sección 4

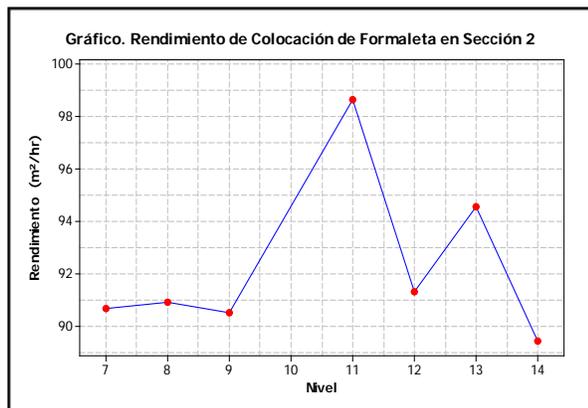


Gráfico 37. Rendimiento de la colocación de formaleta en la sección 2

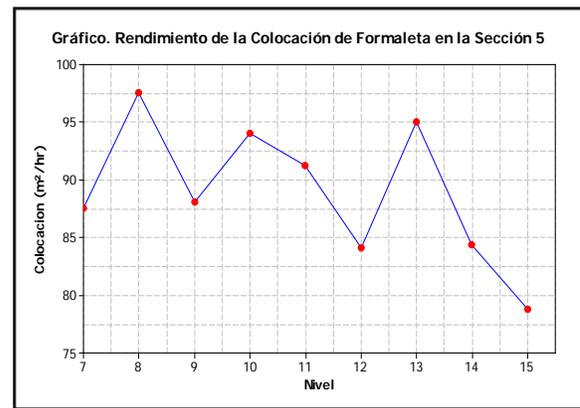


Gráfico 40. Rendimiento de la colocación de formaleta en la sección 5

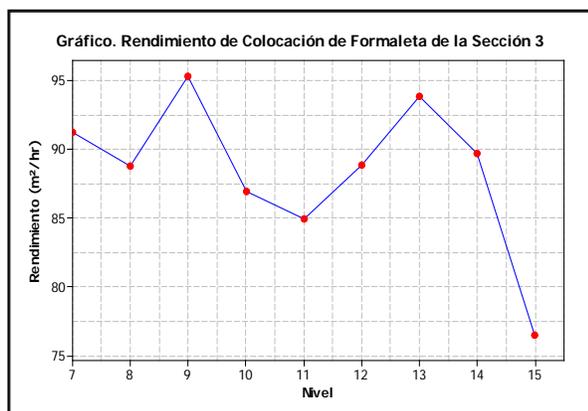


Gráfico 38. Rendimiento de la colocación de formaleta en la sección 3

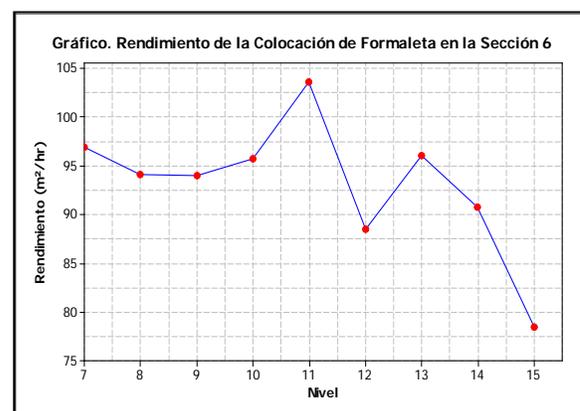


Gráfico 41. Rendimiento de la colocación de formaleta en la sección 6

Desencofrado

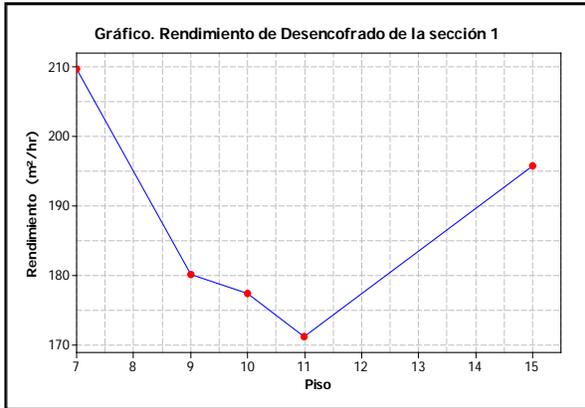


Gráfico 42. Rendimiento de desencofrado en la sección 1

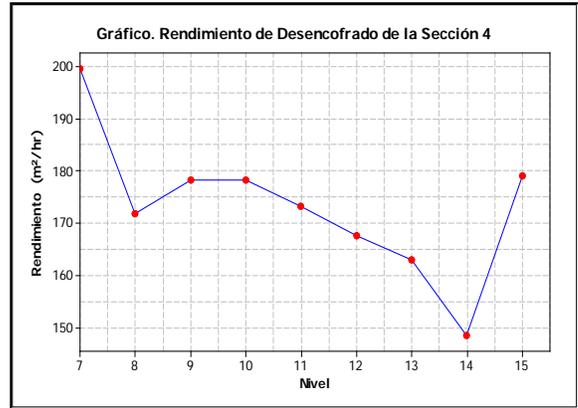


Gráfico 45. Rendimiento de desencofrado en la sección 4

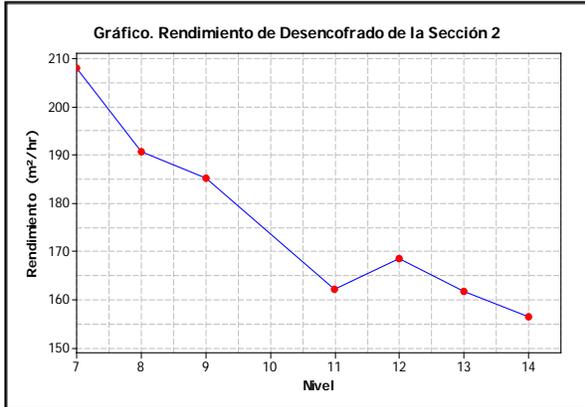


Gráfico 43. Rendimiento de desencofrado en la sección 2

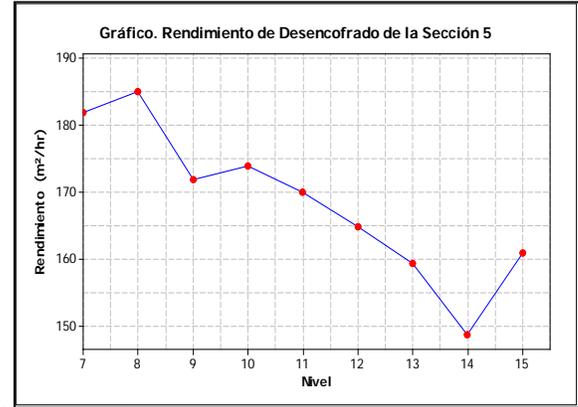


Gráfico 46. Rendimiento de desencofrado en la sección 5

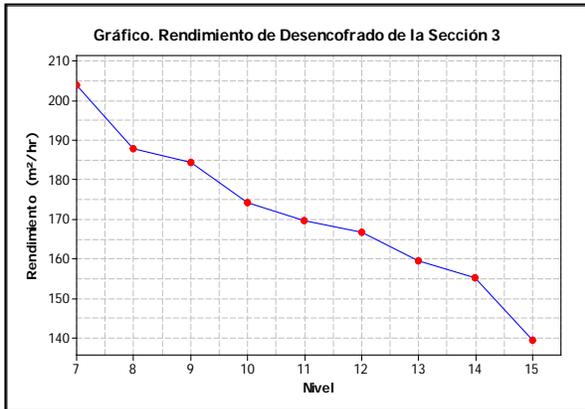


Gráfico 44. Rendimiento de desencofrado en la sección 3

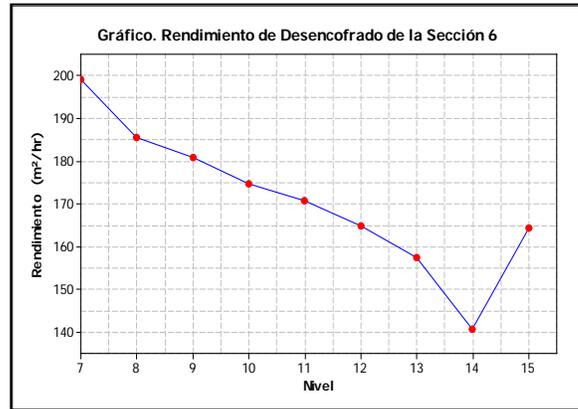


Gráfico 47. Rendimiento de desencofrado en la sección 6

Colocación de Colado de Concreto

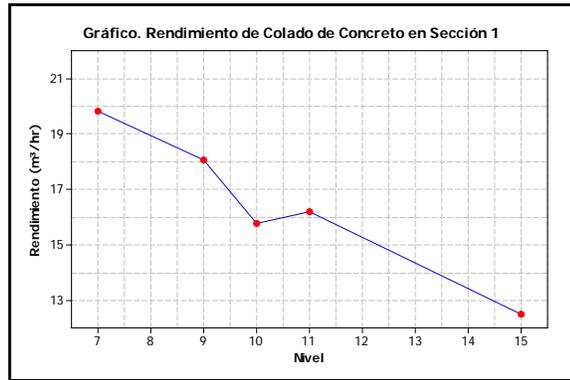


Gráfico 48. Rendimiento de colado de concreto en la sección 1.

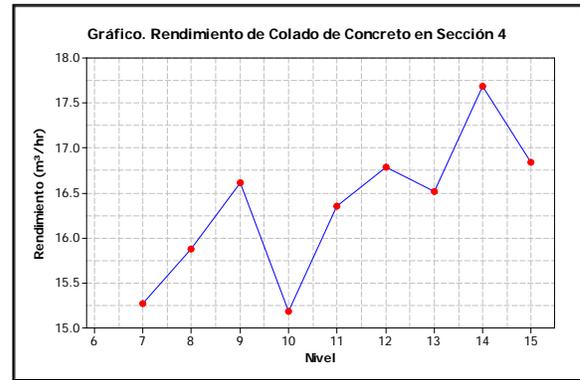


Gráfico 51. Rendimiento de colado de concreto en la sección 4.

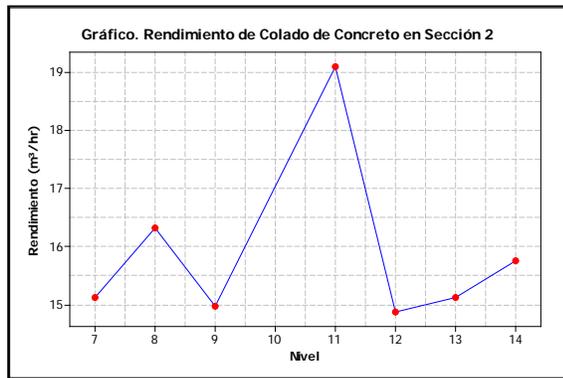


Gráfico 49. Rendimiento de colado de concreto en la sección 2.

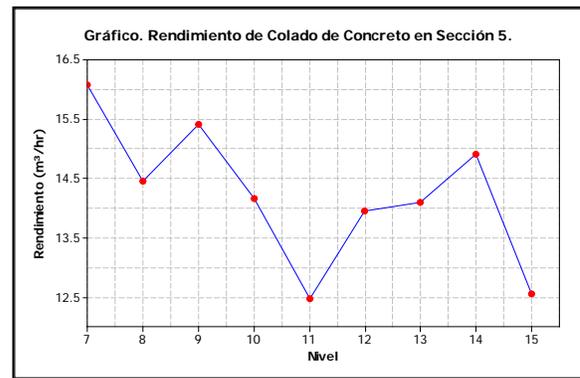


Gráfico 52. Rendimiento de colado de concreto en la sección 5.

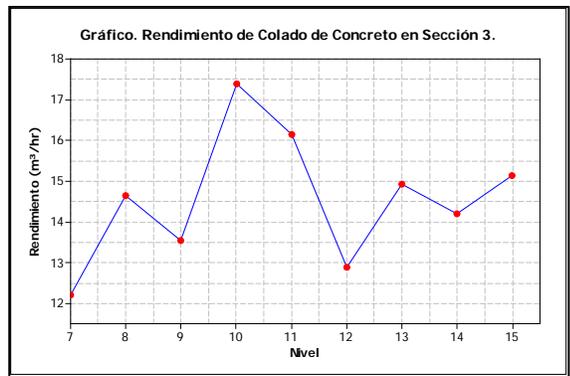


Gráfico 50. Rendimiento de colado de concreto en la sección 3.

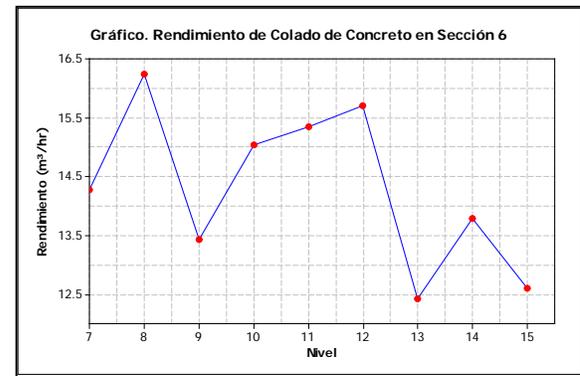


Gráfico 53. Rendimiento de colado de concreto en la sección 6

Análisis de los resultados

Selección de técnica de medición de trabajo

Como parte del proceso de selección de las diferentes técnicas de estudio del trabajo es importante mencionar que si bien es cierto la literatura consultada tiene varios procedimientos y métodos bien detallados para su aplicación, éstos han sido diseñados de manera que su uso se adapta a procesos industrializados, donde las condiciones de trabajo, los materiales y el personal pueden ser controlados, en un entorno que guardan cierta homogeneidad a lo largo del tiempo, y donde las diferentes labores tienen normas que rigen los procesos y productos con estrictas normas y estándares de calidad. Además en muchas de estas industrias los trabajos manuales pretenden obtener siempre el mismo producto en forma idéntica, o rutas de trabajo que siguen siempre un mismo patrón de movimiento. Por ello es de vital importancia destacar que la implementación de las diversas técnicas a la construcción es un labor de alta complejidad, pues, si bien es cierto, los procesos pueden seguir un mismo procedimiento, las actividades para su consecución no siempre guardan un patrón definido y las condiciones laborales están en constante cambio por múltiples factores como el clima, la distribución arquitectónica, la altura y muchos otros que influyen en forma directa sobre el quehacer de la mano de obra.

Usualmente cuando se intenta obtener productividad de un grupo de trabajadores se utilizan técnicas que tienen un razonamiento bastante simple y no requieren de mayores controles; tal es el caso del Balance de Equipo (Crew Balance), el cual intenta obtener las fracciones de tiempo destinadas a las actividades por cada trabajador; por otro lado el "Five minute rating" intenta obtener la eficiencia de cada empleado. Sin embargo, estas opciones tienen

resultados importantes cuando la población por analizar es reducida y tiene un espacio de trabajo donde se puedan controlar en forma eficiente las rutas de trabajos y distinguir a cada individuo para saber qué labor realiza en el instante cuando se toma la medición, por lo que es imposible su implementación cuando la población es numerosa. Aunque se pudo haber analizado solo una muestra de la población, tampoco reflejaría la realidad de un proyecto de construcción, pues los procesos son muy dinámicos y la cuadrillas se interrelacionan para realizar las diversas labores, por eso una sola unidad no podría ejecutar la tarea de forma aislada y, por ende, no se tomaría un fragmento de la realidad, como lo requiere una medición representativa.

Por lo anterior se optó por realizar un estudio del trabajo que permitiera trabajar con poblaciones de mayor extensión y obtener información detallada del trabajo en grupo. Dentro del estudio del trabajo existen muchas técnicas que también pueden ser aplicadas tales como: medición de tiempos con cronómetro, muestreo del trabajo, tiempos predeterminados, estudio de movimientos y una de las más nuevas la técnica MOST. De estas técnicas que se pueden implantar con ciertas adaptaciones a la construcción, algunas requieren de un control exhaustivo y muy preciso, para lo cual demandaría una cantidad de tiempo excesiva y un equipo de trabajo para realizar las mediciones. Por ejemplo, cuando se toman tiempos con cronómetro es necesario estar la mayor parte de la jornada laboral obteniendo mediciones de campo de actividad por aparte y en muchos casos las labores se podrían subdividir en quehaceres cada vez más pequeños que sólo generarían un trabajo excesivo sin aportar

información relevante al estudio, pues cada obrero tiene su propio mecanismo de trabajo, el cual adapta con la experiencia y la comodidad.

En el caso de tiempos predeterminados es una técnica irrelevante, pues como su nombre lo indica es necesario tener información previa para la realización, pues intenta estandarizar un tiempo para las diversas tareas, las cuales además, deben guardar un cierto número de condiciones homogéneas para realizar una aproximación razonable e intentar llevar el grupo de trabajo hacia esa meta.

El estudio de movimiento tiene, al igual que la técnica de tiempos con cronómetro, la desventaja de que requiere una estimación muy detallada de los diversos movimientos para realizar una tarea manual e intentar normalizar cada una de ellas lo que sugiere una labor compleja, pues aunque se puede determinar el procedimiento correcto, se necesitaría un periodo de entrenamiento para que todo el personal, puedan aprender y adoptar el método como propio y aplicarlo.

Es por lo anteriormente expuesto que se determinó utilizar el muestreo del trabajo, pues esta técnica que permite no sólo el manejo de una población mayor, sino que también se puede adaptar con facilidad en la construcción, además requiere un tiempo de implantación adecuado con la realización de la práctica

Muestreo del Trabajo

El muestreo de trabajo como primer paso intenta generar un conjunto de diagramas que muestren los pasos más relevantes de cada proceso y como consecuencia se hace un análisis de los factores principales que inciden en cada una de sus tareas. Por lo tanto el análisis cuantitativo y cualitativo referente a los rendimientos y productividad, por su íntima interrelación, se hará en la sección siguiente.

La primera fase del muestreo del trabajo, dio un panorama completo de cómo funciona el sistema constructivo implementado en el Condominio 6-30, pues la elaboración de estructuras monolíticas es poco común en el medio costarricense. Adicionalmente, se pudo tener una idea del mecanismo de colocación del sistema de encofrado distribuido por la empresa

Forsa, la piedra angular de este proceso constructivo, pues sus características son quienes dictan la ruta y el ritmo de trabajo.

Sin embargo, a pesar de que la formaleta es quien dirige el sistema de trabajo seleccionado, es el acero quien determina la ruta crítica, debido a que es el material más utilizado en la estructura, pues sólo en la torre A se puede decir que se utiliza 1000 kg de acero por cada 5 m³ de concreto, y si adicionalmente a esto se le suma que el hecho de colocar una tonelada de acero requiere casi 8 veces más trabajo que los 5 m³ de concreto, se comprenderá el porqué de este razonamiento.

En el taller de acero, se determinó que eran poco representativos los valores porcentuales de las tareas, pues se hace difícil comprender los tramos de cada uno de ellas, debido a que una vez en el banco, las labores de colocación, medición y doblado se realizan en forma simultánea haciendo difícil su fraccionamiento en elementos individuales. Sin embargo, aunque no se hizo este estudio en forma completa, si se analizó el proceso como un todo. Examinando en forma minuciosa el taller, se observó que la disposición de física de las diferentes áreas, crea un ambiente de trabajo cómodo, pues la bodega, la sección de corte, los bancos de trabajo y la zona de carga siguen un orden lógico que permite agilizar el proceso.



Figura 1. Banco de Confección de Armadura

La sección de almacenamiento de las barras de acero se posiciona justo en las márgenes del camino de acceso al proyecto lo cual proporciona descarga rápida del pedido y no requiere mayores acarreos. En la unidad adjunta

se ha dispuesto una zona de corte, con un espacio adecuado para maniobrar el material sin interferir otras rutas de trabajo o transporte.

La zona donde se encuentran los bancos de trabajo es un área totalmente techada, y por el desnivel del terreno, también se protege de los vientos, por lo cual la influencia de los elementos en esta área es mínima.

Los bancos de trabajo se han colocado sobre los costados, esto permite el tránsito de material tanto para el abastecimiento como su transporte hacia la bodega que está en el costado opuesto a la zona de corte.

Una vez elaborados, los diferentes elementos de refuerzo son transportados a la línea de trabajo mediante la grúa estacionaria, en el caso de los aros por lo general se maneja una bodega en el piso inferior del cual se está trabajando y para el acero vertical en barras de mayor longitud se colocan sobre el pasillo intermedio que corre sobre todo el eje intermedio de la estructura. De ambos sitios se distribuyen los refuerzos de acero hacia los diferentes frentes de trabajo. Como el acero es el que inicia el proceso de construcción, por programación de trabajo siempre este proceso va una sección adelante del resto, debido a que es la labor que más tiempo requiere para su ejecución, de lo contrario se entraría en retrasos importantes en toda la cadena de producción.



Figura 2. Confección de Armadura de Muros

Entonces, una vez ubicados los hitos topográficos se procede al trazado de las paredes según planos y se procede a la colocación de acero en muros que es una faena compleja, pues toda la estructura tiene grandes cantidades de acero, esto implica que elementos como vigas y

columnas concentren un número importante de elementos de refuerzo. De manera tal que la colocación de aros se convierte en una actividad monótona y laboriosa, pues se debe mantener una supervisión constante sobre los espaciamientos, la disposición de los costados de cierre y los elementos de anclaje con otras estructuras. Pero de este paso, el anclaje con amarras es el que mayor tiempo requiere, pues debe atarse cada elemento en sus esquinas y en sus tramos centrales, dependiendo de sus dimensiones, es probable que requiera puntos adicionales de soporte. Por esto la elaboración de amarras también pasa a tener un papel preponderante en la confección de estructuras de refuerzo, pues es el único dispositivo tanto de sujeción como de empalme entre barras. De lo anterior se puede ver, como lo expone el gráfico 1, las actividades de posicionamiento y sujeción en combinación conforman alrededor de un 45% de la totalidad del proceso, erigiéndose como una actividad de la ruta crítica.

Con la conclusión de la confección de refuerzo para los muros, el personal de las instalaciones electromecánicas toma esta estructura como base para soportar los diferentes dispositivos de los sistemas eléctricos; como tomacorrientes, apagadores, así como pasantes de sistemas por colocar en forma posterior. Estos equipos deben revestirse con plásticos y fortalecerse con polietileno para evitar que sufran daños con la colada de concreto.

Es importante mencionar que el edificio cuenta con varios ductos para la colocación de columnas de tuberías y cableado de los distintos servicios, por eso su instalación no debe ir en forma paralela a la construcción de estructuras de concreto.

Se desestimó la consideración de esta actividad para el proyecto, primeramente porque no conforma un paso determinante en la elaboración de la estructura como tal, es decir, tiene una importancia en la construcción de la torre, mas no tiene carácter estructural o efecto alguno que influya o impida en forma directa su levantamiento. Sin dejar de lado el hecho de que puede volverse un proceso verdaderamente complejo de medir; primero se puede subdividir en sistema de iluminación, alimentación eléctrica, telefonía e internet, televisión, agua potable, sistema contra incendio y aguas negras.

Otro aspecto que complicaría su evaluación es la forma de trabajar del contratista,

quien tiene tres equipos de cuadrillas distintas (eléctricos, fontaneros y de incendios) sin diferenciación física alguna. Pero el punto más confuso sería encontrar un patrón de medida que permita realizar una estandarización del método apropiado para una posterior comparación y uso.



Figura 3. Instalaciones electromecánicas

El trazado realizado para los muros, se utiliza para replantear las paredes, ahora con los grosores de pared indicados, incluyendo los sobre anchos que genera la formaleta, que aunque no presenta un porcentaje grande de participación, su función es vital y parte inicial de la ruta crítica.

El proceso de formaleta presenta dos frentes de trabajo simultáneo: el desencofrado y su posterior colocación en la sección siguiente, pues sólo se cuenta con la modulación completa para un apartamento.

La desinstalación de los paneles de muro inicia con el desacople del sistema de apuntalamiento y alineación horizontal que toma alrededor de un 17% de participación.

El desencofrado de pared es un proceso bastante ágil, pues las "grapas candado" están sujetas a los paneles, por lo que al quitar la cuña, se libera el pasador y con la herramienta de extracción se independiza el panel del resto, así sucesivamente. Sin embargo, esquineros y unión muro-losa utilizan pasadores y cuñas por lo que la tarea que se requiere más tiempo, pues posee una mayor cuota de trabajo manual, de ahí que esta actividad es el corazón de la operación con un 65% de participación

Una vez se completa el desacople de la totalidad de los paneles, es necesario realizar la extracción de las corbatas, pues se deben limpiar

y envolver nuevamente para su reutilización en las sección siguiente.

Luego se procede a extraer los paneles de losa, que sigue un método similar, pues también se tiene un sistema de apuntalamiento adicional que debe ser desacoplado para posibilitar la extracción, que sí tiene un grado mayor de complejidad, primeramente por la posición del cuerpo y luego todos estos paneles requieren de pines y cuñas para la sujeción correcta. La posición de los paneles corona, que deben permanecer ahí para el apuntalamiento de la losa durante el periodo de fragua, no interfieren con el desencofrado pues son parte integral de la modulación de la losa.



Figura 4. Corbatas del Sistema de Formaleta

Los materiales ya liberados son transportados a la próxima sección donde inicia su armado. Se van juntando paneles de pared, instalando una corbata envuelta en cada punto de acople, hasta llegar a las esquinas, y luego se repite el mismo proceso en la cara opuesta. Debido a que el grupo de armadores y electromecánicos requiere del armado de la losa para realizar sus labores, primero se completa la totalidad de las paredes internas para poder instalar la losa y luego se procede con el armado de las caras exteriores de los muros. Esto concordante en el gráfico 3, donde la colocación de paneles de losa y el apuntalamiento consumen en conjunto alrededor del 60% de la actividad.

Además cabe mencionar que la instalación de la formaleta en la parte exterior

presenta mayores inconvenientes, primero por el uso del equipo de seguridad debido a los riesgos que esto implica en un edificio de gran altura y el reducido espacio que provee las pasarelas que conforman parte del sistema de formaleta.

Con la losa completa, los armadores pueden entrar a realizar sus labores, que inician con el corte, transporte y colocación de la malla electro-soldada, que unidas toman un tercio de la totalidad del tiempo de la faena en las alturas.

Se prosigue con la colocación de los espaciadores de concreto (comúnmente llamados: "helados"), para dar el recubrimiento inferior, mientras que la malla se refuerza con una serie de bastones dispuestos bajo cierta configuración estructural para mejorar el acople con muros y columnas.



Figura 5. Colocación de Formaleta Forsa

Una vez completa la malla inferior, se instalan los espaciadores de acero (conocidos en el argot popular como "perros") y se inicia el enmarañado proceso de conformar la losa superior, pues por sus sentidos ortogonales presenta múltiples cruces con muros y vigas, lo que complica el colocar y anclar las barras completas, por ello primero se va marcando su posicionamiento correcto y luego se procede al doblado para crear las patas de anclaje y su posterior amarre.

Esta elaboración de malla también tiene una lógica similar a la del armado de muros, pues cada cruce debe atarse con amarras y esta labor es un tanto lenta, de ahí el hecho de que se le confiera el 40% de la totalidad del tiempo de colocación.

Con la colocación de niveles y maestras en la losa, se tiene el inmueble listo para la

colocación de concreto, que por lo general se realiza en horas de la noche, esto por varias razones: primero el menor tránsito agiliza la llegada de camiones a la obra. En segundo lugar se registra una disminución de la temperatura en las noches y así el sol no ataca el concreto y contribuye a su proceso de fragua; y tercero que el ritmo de trabajo logra conformar un ciclo de trabajo que va terminando diariamente cerca las 4 ó 5 de la tarde, y si se deja el proceso de colado para el próximo día, implica un retraso importante, porque se le debe descontar el tiempo de chorrea y fraguado del concreto, lo que implicaría que no se podría trabajar hasta el próximo día.

El colado de concreto tiene una línea de acción definida por la llegada de material al proyecto, independientemente si el trabajo es realizado con bomba telescópica o estacionaria, pues el traslado de la manguera sigue siendo el moderador del sitio de trabajo, por ello que esta tarea tendrá el mayor porcentaje de participación, y aunque no parece tener mayor trabajo, hay que decir que este trabajo no es fácil debido al peso y la vibración ocasionada por la descarga, por lo que requiere un despliegue físico importante.

La vibración y distribución con pala se mueven conforme lo hace la manguera de la bomba. Mientras que las labores de nivelación y acabados van un paso atrás del resto pues necesitan que la totalidad del volumen de concreto de un área esté colocado por completo para cumplir con su labor, que por lo general termina a altas horas de la noche y dado caso durante en las primeras horas del día siguiente.



Figura 6. Colocación de Concreto

Productividad y Rendimientos

Para simplificar el análisis y por el hecho de que los rendimientos y la productividad del personal están íntimamente relacionados se procedió a examinarlos en forma conjunta. Una nota importante, se refiere al hecho que llamaremos productividad al porcentaje de tiempo en que una persona realiza una labor productiva, y no específicamente al hecho de poder realizar más trabajo con lo mismo recursos, como lo estipulan las bases de producción industrial.

En el banco de armadura se realizó un estudio particular, pues funciona como una línea de producción industrial y es complicado determinar qué tiempo le toma confeccionar todos los elementos de refuerzo que consume una sección de correa, pues se hace una producción en serie y no según la demanda. Por eso la estimación de tiempo se realizó tomando como base el tiempo requerido para procesar 100 kg de acero, sin importar el tipo de elemento que se elaborará, de esta manera se determinó que el banco tiene un rendimiento de 2.22 kg de acero por minuto; siendo consistentes con los patrones de medida predeterminados serían unos 0.131 ton/hr. Si se le da otra perspectiva sería equivalente a procesar unas 39 varillas número tres por hora, equivalente a un promedio de 0.0076 hrs-h/kg por parte de la mano de obra, tomando en cuenta que el banco cuenta con cuadrillas con técnicas y destrezas propias de la labor.

Si se toma en cuenta que el banco presenta una productividad del 89.42%, se puede decir que el diseño del espacio de trabajo tiene una incidencia importante en el desempeño, pues se trabaja en forma más cómoda y ordenada, lo que evita fatiga física y cansancio mental lo cual se puede producir por tener que cuidar muchos parámetros al mismo tiempo, adicionales a los que el trabajo requiere. Sin dejar de lado la importante experiencia con la que cuenta el personal de ésta área, quien ha podido especializarse en ciertos trabajos y resulta vital para su elevado ritmo de trabajo.

Continuando la ruta del acero en el proyecto, se debe ver cómo se comporta la mano de obra en las labores de colocación sobre los muros. Como se acotó en forma previa, los

apartamentos siguen una distribución arquitectónica similar y, por ende, sería tomado como patrón de medida para las diferentes actividades propias de la construcción de una estructura monolítica.

Aquí intervienen varios factores, pues es un proceso meticuloso y lento, de hecho se estimó que se requiere el trabajo de 24 operarios y sus ayudantes para completar la totalidad de un apartamento en un periodo de dos días y medio de trabajo, en otras palabras, 24.6 horas hombre en promedio. Sin embargo, es destacable que su productividad ronda el 74.05 %, lo cual quiere decir que hay periodos inactivos cercanos a un cuarto del tiempo. En cuanto a su rendimiento promedio ronda los 0.184 ton/hr, se mantiene constante en la mayoría de los pisos sin presentar variaciones importantes. Esto motivado más que nada por los trabajos adicionales que requiere esta labor como el armado de andamios, el continuó corte de amarras en posiciones difíciles y la intensa actividad mental que se requiere para enfocarse en una labor repetitiva sin perder de vista las configuraciones propias de cada elemento y con el inconveniente que genera el equipo de seguridad para la libre movilidad de las extremidades.



Figura 7. Colocación de Acero en Muros

Otra fuente de retrasos es la compleja labor de distribución del acero, pues columnas y vigas presentan una gran densidad de acero que debe entrelazarse para consolidar la estructura como una sola unidad. De esto parte el hecho de que muchas veces se debe incurrir en reparaciones para poder completar el entroncamiento entre muros y losas o reconfigurar un espaciamiento para no interferir

con elementos de mayor trascendencia desde el punto de vista estructural.

Tiene gran relevancia de hecho de que para este proceso, el porcentaje de error supere el 55%, esto porque sólo se pudieron realizar 50 observaciones y la cantidad estimada debió acercarse a las 6000; esto por cuanto no se puede tener una muestra más grande que la totalidad de la población. Para ponerlo en perspectiva, la totalidad del edificio son 96 apartamentos, y aunque se hubiese medido la colocación de acero en muros en cada uno de ellos, aún harían falta poco más de 5900 mediciones. Sin embargo, esta toma de mediciones puede servir como base para investigaciones posteriores y hasta cierto grado para la estimación de tiempos, pues la muestra representa un diferencial del cual se pueden inferir el comportamiento de dicha variable, ya que su comportamiento denota una gran semejanza con la distribución normal a la cual se acercaría la totalidad de la población.

En cuanto al acero colocado en las losas, esto presenta una productividad del 85.5%, que aunque es bastante elevado, presenta problemas de distribución de personal, pues el espacio es reducido y se ven problemas de duplicidad de labores, además los equipos de trabajo cambian de labores en forma aleatoria.

El rendimiento promedio ronda el 0.58 ton/hr, es decir, se puede colocar más de media tonelada de acero por hora, lo que es impresionante pues las losas poseen una densidad de acero de 78.9 kg/m³; por lo que este proceso requirió que todo el personal disponible se avocara a dicha tarea, alcanzando en algunos periodos hasta 47 individuos trabajando en forma simultánea, de ahí se desprende un rendimiento promedio de 1.76 hrs-h/ton en la diferentes secciones de chorroa.

La diferencia en su proceder respecto unas secciones de otras es la comodidad con la que se puede mover el personal a las diferentes zonas tanto para la colocación del refuerzo, como para el transporte de materiales. Por lo que las secciones centrales cuentan con un mayor rendimiento, pues los materiales están en el mismo nivel y se tiene el sector de las losas 1 y 2 para movilizarse con mayor facilidad, esto no ocurre cuando está iniciando un nivel, el cual requiere de un acarreo mayor en altura y los accesos mediante escaleras crea un retraso importante para el personal.

Otro factor que influye en las variaciones del rendimiento, lo constituye el hecho de que la cantidad personal fue variando a lo largo del proyecto, en dado momento se contaba con una fuerza laboral de hasta 47 personas (22 operarios y 25 ayudantes) y luego fue disminuyendo a 35, (15 operarios y 20 ayudantes) lo cual también puede crear un cambio importante en la medición de productividad, pues debe realizarse la misma labor con menor cantidad de horas hombre. Esto también ofrece la posibilidad al capataz de tener un mejor manejo del personal, pues puede controlar de mejor manera las diferentes labores en equipos pequeños de trabajo.



Figura 8. Conformación de Refuerzo de Losa

Este rendimiento cuenta con un error asociado de 8.25%, que tiende a ser un buen porcentaje pues el error estándar es de 5% y para solamente realizar la mitad de las observaciones requeridas. De ahí se puede determinar que la distribución normal de los tiempos tiende a las 2.77 horas como media para su conclusión.

El siguiente proceso en el esquema de trabajo lo forma la implementación del sistema de formaleta; donde el personal tiene una productividad del 83.7%, lo cual también rompe con los acostumbrados valores de 60-40 que siempre se estiman para la construcción, esto debido a que el contratista ha esquematizado las secciones de chorroa en pequeños frentes de trabajo, donde se ha designado un operario para colocar el panel, un ayudante para el alcance de paneles y accesorios y un equipo compartido por todos, que se encarga del transporte de los paneles. La toma de productividad se basó en 100 mediciones, lo que estadísticamente acarrea

un porcentaje de error del 7.23%, que no representa cambios importantes debido a que su dispersión ronda el 0.064, con lo que la media podría ser fácilmente alcanzada en las mediciones obtenidas.

En cuanto al rendimiento se puede notar una clara estabilidad conforme va creciendo la torre A, donde la media apunta a un 90 m²/hr. La uniformidad de los rendimientos también se puede palpar en su estimación de tiempos, la cual sigue una distribución normal con gran fidelidad y acumula un porcentaje de error del 7.2%, por lo que el rango de confiabilidad es bastante bueno.



Figura 9. Colocación de Formaleta Forsa

Sin embargo, se puede observar como en todas las secciones se da un marcado decrecimiento en el piso 15, pues este nivel cambia su distribución arquitectónica, por ello se debió hacer adaptaciones de paneles, así como elaborar paneles hechizos para poder completar el encofrado y era justamente este el comportamiento que se quiso observar al incluir dicho nivel, pues en las secciones 3 y 6 se observan variaciones de hasta 10 m²/hr

La modificación es tan evidente que si se excluye el decimoquinto nivel del promedio general, se puede ver que el rendimiento puede aumentar unos 5 m²/hr.

Esto refleja como el personal se habituó a un ritmo de trabajo bastante exigente, puesto cada apartamento requiere de un encofrado que ronda los 280 m² en muros y unos 130 m² de losa, por lo cual el equipo había adquirido una habilidad importante para la implementación del sistema, incluso muchos de ellos no requerían la revisión de planos de taller, pues ya tenían en la

memoria la modulación de cada zona de trabajo, traduciéndose esto en un rendimiento promedio de 0.011 hrs-hr/m², que se mantiene constante tanto en los diferentes niveles como en las secciones.

Esto habla muy bien de las prestaciones de la formaleta, cuyo sistema mano-portable, y con anclajes incorporados a los paneles, generan un procedimiento bastante eficiente para la colocación de formaleta en espacios reducidos, sin dejar de lado la importante reducción de tiempos de construcción al tener la posibilidad de colar las paredes y la losa de entrepiso en un solo proceso.

Para las labores de desencofrado se estimó una productividad del 87.4%, es decir, que esta labor se lleva a cabo en forma diligente, pues su eficiencia está ligada a la colocación del sistema de formaleta, puesto que se llevan a cabo en forma simultánea, en otras palabras, conforme se van extrayendo son transportados inmediatamente a la siguiente locación.

Este proceso se lleva a cabo con tal rapidez, que se diría que toma casi la mitad tiempo que su colocación. Como lo muestran los tiempos, la labor de desarmar la formaleta toma alrededor de 2,40 horas mientras que la colocación requiere en promedio 4.41 horas. Claro que ha de contemplarse que para la extracción de paneles, no se requiere más que los cuidados mínimos para no dañarla, mientras que en el proceso inverso se requiere de alinear, limpiar, empalmar y nivelar los paneles, que viéndolo desde el punto de vista del personal, su rendimiento de 0.014 hrs-h/kg, es decir casi un 50% mayor que el desempeño para su colocación.



Figura 9. Desencofrado de Losa

De las mediciones se desprende que el desencofrado presenta una marcada tendencia a decrecer conforme crece la torre A. Esto se puede sustentar en el hecho de que entre mayor habilidad tienen los operarios para armar la losa, menor tiempo requieren del desencofrado, porque en lugar de hacer una extracción masiva de paneles, se detiene sólo para hacer la selección de la panelería requerida. Este caso plantea una variable interesante, pues se puede afirmar que un decrecimiento en el rendimiento puede ser producto de una mejora en el proceso constructivo, en otras palabras, se podría considerar un efecto negativo lograría ser apropiado proviniendo de una mejora en la metodología de trabajo.

En la parte final del proceso constructivo desarrollado en el Condominio 6-30, se ubica la colocación de concreto, cuyo proceso puede tener muchas variables, pero todas ellas ligadas de una u otra manera al concreto mismo.

Ello lo refleja el comportamiento heterogéneo que se observa en las gráficas de las diferentes secciones de chorro, pues no es posible obtener un parámetro de comportamiento, sin embargo, los tiempos de duración sí tienen una distribución normal bastante marcada. En síntesis la chorro toma un tiempo promedio de 2.85 horas para colocar alrededor de 42 m³, que a grosso modo permite decir que el rendimiento promedio en la torre A es de 14 m³/hr. Tomando en cuenta que el porcentaje de error de asociado ronda el 7.6%, se afirmaría que el rendimiento refleja bastante bien la media del proceso.



Foto 10. Colocación de tubería para transporte de concreto mediante bomba estacionaria.

De esta medición se descontaron los tiempos muertos ocasionados por el proveedor del concreto; ya sea por retrasos en la entrega del material, problemas con el sistema de bombeo o con las características requeridas del producto, pues estas causas no son atribuibles al personal encargado de la chorro. Sin embargo, es importante decir que estas interrupciones influyen en los porcentajes de productividad del personal, pues disminuye el ritmo de trabajo, debido a que labores como la nivelación y planchado no pueden continuarse hasta que se complete el paño de losa.

Asociado al concreto también juegan un papel importante las características de éste, pues son determinantes, no sólo para alcanzar los parámetros estructurales, sino que den los acabados que se esperan. El concreto utilizado en el Condominio 6-30 requería una resistencia de 315 kg/cm², un revenimiento de 25 cm y una extensibilidad superior a los 55 cm, estas particularidades para cumplir con las solicitaciones del diseño estructural y propiedades favorables para su colocación en una estructura con una generosa cuantía de acero.

Cuando el concreto no cumple con estas características trae problemas para el colado, pues no fluye en forma adecuada entre la armadura, incluso puede presentar problemas para su movimiento con pala y puede presentar segregación al tener que utilizar un periodo inadecuado de vibración. Esta problemática se traduce en una labor aún mayor por parte del personal para realizar la misma tarea.

Por ser una edificación de altura, se podría pensar que el transporte de concreto juega un papel preponderante o al menos ser un factor a tomar en cuenta para el rendimiento del colado, sin embargo, la cuadrilla no presentó mayores cambios en su rendimiento independientemente si se utilizaba la bomba con brazo telescópico o la bomba estacionaria. Si bien es cierto la bomba estacionaria requiere de un mayor proceso de instalación, no forma parte de las labores de la cuadrilla del concreto, sino del personal de la empresa proveedora.

Ni siquiera la movilidad que ofrece el brazo telescópico juega un papel importante, porque el tiempo que tarda este brazo en moverse de un paño a otro; debido a que los arranques de varilla le impiden su libre movimiento, es equiparable al tiempo que se

necesita para desacoplar un tramo de tubería utilizado por la bomba estacionaria.

Un factor que sí juega un papel importante en el rendimiento, es la cantidad de espacio sobre el mismo nivel con que se cuenta. En las secciones 1 y 2 el rendimiento es menor al resto pues, como siempre son las primeras en chorrear y no cuentan con espacio adicional para el movimiento del personal, mientras que las secciones 3 y 4 ya cuentan con las losas de las secciones 1 y 2 para moverse. De hecho en la sección 1 el rendimiento alcanza apenas 9.14 m³/hr y la sección 2 una tasa de 12.36 m³/hr y el resto superan los 14.5 m³/hr. De igual manera se ve el comportamiento de la mano de obra, pues el rendimiento promedio de la sección 1 y 2 es de 0.035 hrs-h/m³ y 0.049 hrs-h/m³, que difieren bastante con el resto que superan el 0.06 hrs-hr/m³ en las secciones intermedias y 0.070 hrs-h/m

Además pueden variarse las tasas de colado, debido a que las secciones 2, 4 y 6 contemplan secciones del pasillo y demanda mucho menos trabajo una sección plana que un muro.

Hay algunos aspectos que influyen de lleno en el rendimiento y productividad del personal que afecta todas las actividades por igual y la primera de ellas es el clima, pues aunque es difícil cuantificar que porcentaje afecta la eficiencia del personal, si se puede ver el agotamiento producido por las altas temperaturas, pues los trabajadores desean guarecerse en forma constante y aumentan sus viajes para traer agua a su lugar de trabajo.

El salario es otra vertiente importante y como cada contratista maneja esto de forma diferente, se pueden observar contrastes bien marcados en la proactividad y desempeño de cada fuerza laboral; pues si sus labores no son bien remuneradas o si su sobreesfuerzo no es retribuido económicamente, el personal tiende a seguir una actitud del mínimo esfuerzo, que a la postre depara en una menor calidad de trabajo y una disconformidad con su labor.

Igual descontento genera al interno del grupo cuando un trabajador nuevo, impone un ritmo desigual o despunta, pues puede crear un ambiente de antipatía, dado que es posible que el jefe quiera exigir el mismo ritmo o, por el contrario, más bien cree un retraso para la labor de grupo, por ello el trabajador termina adaptándose al grupo a fin de poder mantener el

trabajo y no crear fricciones con el resto de compañeros.

Para contrarrestar estos efectos nocivos, algunos contratistas proponen un plan de incentivos para la consecución de metas o un sobresueldo para aquellos trabajadores que muestren un desempeño destacado.

Para este caso en específico un elemento aleatorio que sí tuvo un efecto notorio en la operación general de la obra, fue la entrada en vigencia de la nueva ley de migración, la cual impone nuevas regulaciones para la contratación de mano de obra extranjera, obligando a los contratistas a poner al día sus planillas para estar en regla. Esto implicó que la obra se quedara con poco menos de la mitad del personal, el cual es de procedencia extranjera y debía regresar a su país de origen para legalizar sus papeles.

De esta situación se derivó que mucha de la mano de obra tuvo que ser sustituida, desperdiciando la experiencia con la que ya se contaba y aminorando el ritmo de trabajo, de ahí que en el piso 10 se denota una disminución sustancial en el rendimiento de las diferentes actividades, mientras se entrenaba al nuevo personal y se acoplaba al ritmo habitual.

Conclusiones y Recomendaciones

Conclusiones

- La productividad del 89% presentada por el banco de armadura está intrínsecamente ligada con la distribución del espacio de trabajo cuya disposición sigue el orden lógico del proceso de manufactura.
- Mantener el banco de armadura en una sección aislada del proyecto, le da una importante capacidad de concentración al personal, pues evita la distracción que acarrea el interactuar con el resto del personal, y aún más importante el hecho de evitar la interrupción de rutas de trabajo y los cortos acarreo entre el banco y las secciones de almacenaje.
- La movilización de andamios, la implementación de sistemas de seguridad ocupacional y la colocación de anclajes temporales son trabajos adicionales que deber realizar el personal encargado de la colocación de acero en muros de ahí que su productividad muestre un 26% de tiempo improductivo por lo que su ciclo de trabajo toma un periodo mayor
- En lo referente a la colocación de acero en las losas a pesar de que cuenta con un impresionante desempeño, colocando en promedio 0.58 ton/hr, sin embargo, esto no se debe precisamente a plan de trabajo organizado sino más bien a la gran cantidad de mano de obra que participa en el proceso.
- Aún cuando la colocación de acero en losa presenta vicios tales como duplicidad de labores y cambios aleatorios de tareas; su productividad alcanza un 85.5%, debido a que el trabajo manual no requiere mayores desplazamientos del personal y que el transporte del material y la limpieza está a cargo de cuadrillas específicas.
- Prestaciones de la formaleta Forsa tales como: una baja relación peso-tamaño, sistemas de anclaje embebidos y una diversidad tamaños, que facilitan su colocación, transporte y modulación son factores que contribuyen a que el personal encargado de su colocación alcance un ritmo promedio de 90.1 m²/hr, que se traduce en importantes beneficios de tiempo y costo para la empresa.
- Otro factor importante que influye en el destacado desempeño de la colocación de formaleta es su alto porcentaje de productividad el cual supera el 80% esto debido a que aunado a las prestaciones de la formaleta, e contratista ha implantando una organización importante de cuadrillas en secciones y tareas específicas de colocación y transporte para asumir la actividad que mayor acarreo de materiales, precisión y cuidado requiere en el proceso constructivo implementando en el Condominio 6-30.
- La actividad del desencofrado presentó un comportamiento particular pues fue la única actividad que mostró una marcada tendencia al decrecimiento en su rendimiento, sin embargo parece contradictorio decir que tal efecto proviene de una mejora sustancial en el proceso, pues se paso de un desencofrado en forma masiva a un desacople sistemático que coincide con la panelería requerida en el frente de trabajo de colocación de formaleta en la sección siguiente.
- La productividad del desencofrado alcanza un 87.5%, aun cuando presenta problemas de organización del procedimiento, pues al desacoplar paneles, todos los accesorios de sujeción, herramientas y paneles quedan distribuidos por todo el área de trabajo

requiriendo de labores adicionales para su recolección y transporte.

- Como la colocación de formaleta y el desencofrado son procesos que se llevan en forma simultánea, sufren una disminución importante en el desempeño de la mano de obra cuando se hace necesario el cambio de nivel, ya que el transporte de materiales y la movilización personal en las alturas se hace más complejo por la escasez de espacio y el limitado tránsito que permiten las escaleras.
- La colocación de concreto tiene un comportamiento heterogéneo en sus diferentes secciones, esto motivado especialmente por el espacio disponible en el mismo nivel de chorro, de ahí que las secciones centrales poseen un mejor desempeño por contar con losas adyacentes para el libre tránsito del personal y no asistido por andamios o escaleras como ocurre en las secciones 1 y 2.
- La colocación de formaleta sufre variaciones en sus rendimientos de hasta 10m²/hr en el piso 15, esto se debe a que dicho nivel presenta variaciones importantes en la distribución arquitectónica, lo que obliga a realizar adaptaciones de formaleta, incluso elaborar paneles hechizos para completar el encofrado del nivel, evidenciando la importancia de contar con la modulación correcta y completa del inmueble para un proceso más ágil. La variación en la colocación de formaleta es tan evidente en el nivel 15, que si se elimina el rendimiento de este nivel del promedio general se experimenta un aumento de 5 m²/hr.
- El desencofrado de cada sección de chorro toma en promedio 2.4 hrs mientras que el armado toma casi el doble de este tiempo, 4.41 hrs, esta diferencia se sustenta en el hecho que para el proceso de colocación se requieren una serie de pasos de limpieza, empalme, anclaje y nivelación mientras que su inverso únicamente necesita los cuidados mínimos para no dañar el encofrado.
- No se determinó un cambio importante en el rendimiento de la colocación de concreto independientemente que dicha labor se llevara a cabo con una bomba estacionaria o un con brazo telescópico, por lo que el tiempo necesario para mover el brazo telescópico entre los paños de losa evitando los arranques de varilla, es equivalente al requerido para detener la bomba estacionaria y desacoplar una sección de la manguera.
- Los porcentajes de productividad encontrados rompieron los paradigmas de 60% productivo -40% improductivo que siempre se han estimado en la mano de obra en la construcción.
- Es importante decir que el éxito de una adecuada programación de proyecto, depende en gran medida de la correcta estimación de tiempos de las diferentes labores que componen una actividad, de ahí del papel preponderante que juegan los rendimientos como herramienta de programación y estimación de costos.
- El trabajo mediante subcontratos ofrece grandes réditos económicos y laborales, pues sujetan el avance al desembolso de dinero, dejando a la empresa contratante con la oportunidad de ejercer un minucioso control de calidad.
- La implementación de nuevos procesos constructivos siempre es complicada, pero los beneficios son sólo para aquellas empresas que están dispuestas a arriesgar y ponerse a la vanguardia.
- La consecución de patrones de medida de la productividad y rendimiento en edificaciones de altura en forma modular, pueden servir de base para futuras investigaciones y así como parámetros para valorar diferentes sistemas constructivos presentes en el mercado.

Recomendaciones

- Llevar un inventario minucioso del acero empleado en cada sección para refinar los pedidos y evitar el desperdicio.
- Evitar los desperdicios de acero, mejorando los planos de taller y modulación de elementos.
- Disponer de un área para la deposición y clasificación de desperdicios.
- Poner servicios sanitarios en todos los niveles para comodidad del personal.
- Instalar dispensadores de agua en los niveles cercanos al frente de trabajo para disminuir el tiempo que toma el personal para dicha hidratarse.
- Establecer las rutas de salida y entrada a las zonas de trabajo a fin de evitar las conglomeraciones y las interrupciones que esto pueda ocasionar.
- Definir rutas de materiales dentro de la obra con la finalidad de no entorpecer otros procesos, así como el transporte de material, pues el espacio en la torre es reducido.
- Tener una programación de actividades sobre la grúa para evitar atrasos en el transporte de materiales al frente de trabajo lo requiera.
- Establecer un mejor sistema de comunicaciones dentro del proyecto para un mejor manejo del personal y la interrelación obrero-patrono.
- Informar al personal sobre los protocolos y medidas de seguridad para evitar accidentes y que tengan el conocimiento para utilizar el equipo de seguridad necesario para cada tarea.
- Dotar de todo el equipo de seguridad necesario al personal según su labor disminuir el riesgo de accidentes.
- Disponer de un área que funcione como comedor para los empleados para mejorar sus condiciones de trabajo y su tiempo de descanso.
- Mejorar la iluminación de los espacios de trabajo, pues evita la agilidad del trabajo y promueve accidentes.
- Informar al personal sobre el tipo de proyecto que se lleva a cabo y hacerle partícipe del cronograma de actividades.
- Equiparar el salario entre los diferentes contratista para evitar molestias a lo interno del personal.
- Confeccionar un sistema de información que permita la comunicación eficaz entre los diferentes contratistas, proveedores y las demás secciones de la empresa.
- Para realizar las mediciones que requiere el muestro del trabajo debe utilizarse alguna herramienta audiovisual adicional a la tabla física que permite una mayor rapidez y movilidad en el frente de trabajo.
- A la hora de establecer un parámetro de medida, éste de no debe depender de otros factores externos, pues la información pierde su aplicabilidad para futuros usos.
- Es importante ser objetivo para determinar si la prioridad de una medición es la precisión o el comportamiento de la variable, pues de esto depende la cantidad de mediciones y el tiempo requerido para las mismas.
- La parcialidad y objetividad del muestreo es vital, pues dependiendo el sentido de la misma, puede estar en juego un sistema de incentivos o salarios de la fuerza laboral.

- Para determinar qué actividades vale la pena medir, debe definirse no sólo la ruta crítica, sino también utilizar el sentido común para precisar qué tareas son relevantes desde el punto de vista del proceso como un todo.
- Es posible considerar la reducción del personal en las labores de colocación de acero en losas, pues trabajar por tareas en equipos pequeños podría dejar mejores réditos financieros y laborales, además de facilitar la labor del capataz.

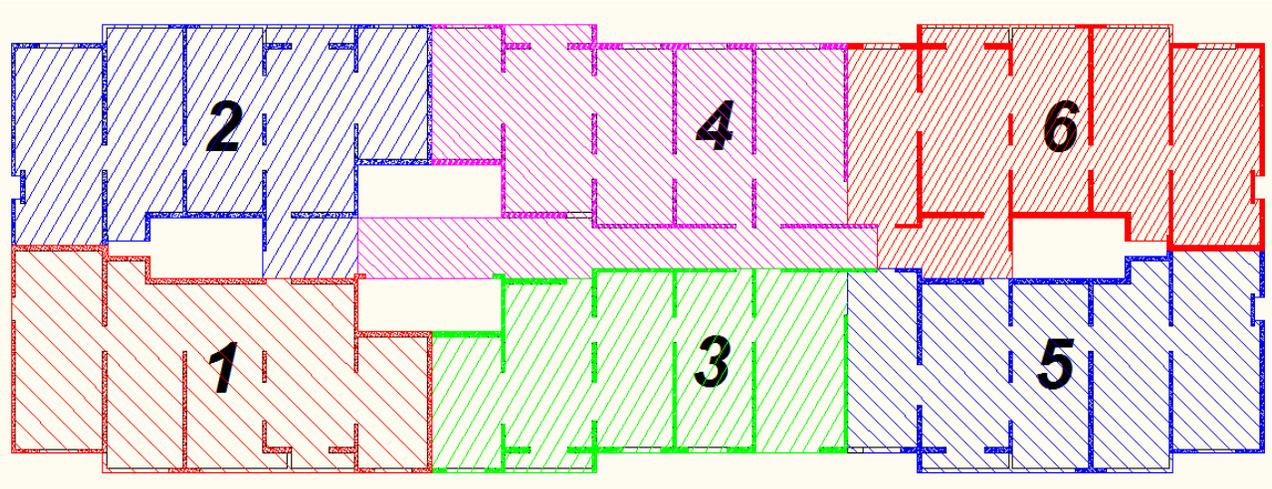
Apéndices

- I. Todos las figuras de los procesos fueron realizadas con el programa Microsoft Word
- II. Todos los histogramas fueron elaborados con el programa Mini Tab 15
- III. Todos los gráficos de distribución de probabilidad fueron confeccionados con el programa Mini Tab 15
- IV. Todos los gráficos conjuntos de histogramas y distribución de probabilidad fueron realizados con el programa Mini Tab 15
- V. Todos los gráficos circulares fueron hechos con el programa Microsoft Excel
- VI. Todas las tablas de datos fueron generadas en el programa Microsoft Excel
- VII. Los planos de planta de la edificación fueron elaborados en Auto CAD 2007

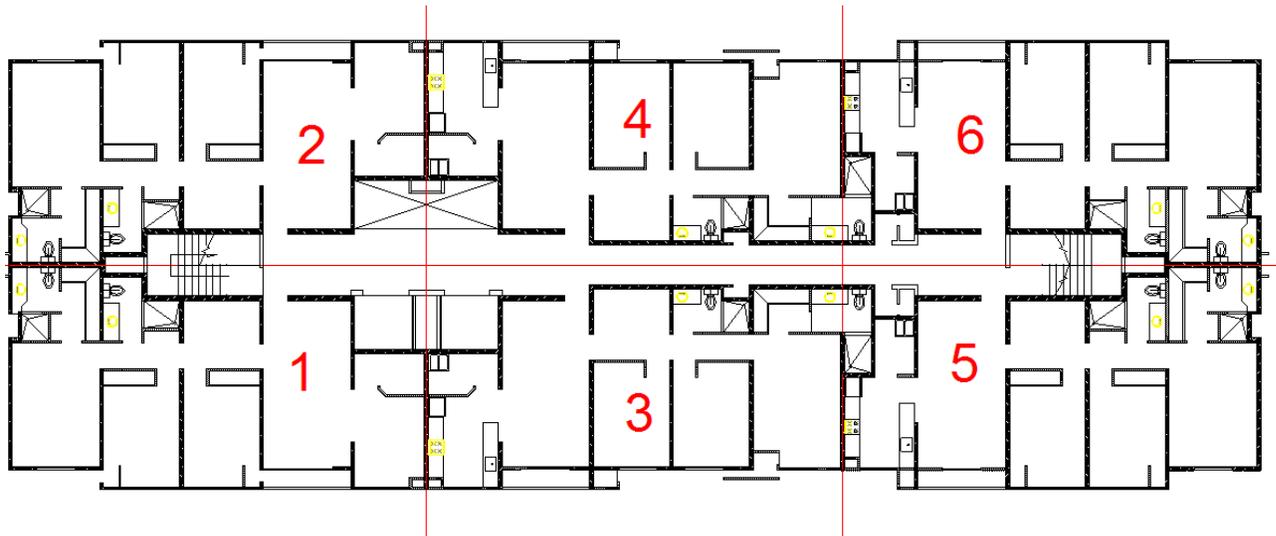
Anexo

Anexo 1: Planta Típica de la torre A

Secciones de Chorrea indicando únicamente paredes de concreto



Secciones de Chorrea indicando distribución arquitectónica



Anexo Registro de Datos de la Productividad de la Confección de Armadura

Tabla. 2 Registro de Productividad de la Confección de Elementos de Acero							
Medición	Productividad	Medición	Productividad	Medición	Productividad	Medición	Productividad
1	90.06%	26	90.24%	51	86.69%	76	95.33%
2	86.01%	27	89.60%	52	79.09%	77	82.05%
3	89.54%	28	89.11%	53	98.44%	78	87.23%
4	90.66%	29	79.62%	54	89.50%	79	94.15%
5	83.68%	30	93.60%	55	89.24%	80	91.34%
6	92.75%	31	90.51%	56	78.17%	81	82.99%
7	93.43%	32	81.56%	57	76.39%	82	95.43%
8	94.46%	33	91.34%	58	95.82%	83	86.64%
9	95.85%	34	89.99%	59	81.66%	84	92.62%
10	90.08%	35	97.30%	60	96.79%	85	93.68%
11	86.51%	36	96.93%	61	82.54%	86	88.17%
12	95.81%	37	88.59%	62	88.09%	87	85.12%
13	89.12%	38	85.26%	63	84.59%	88	93.41%
14	85.91%	39	88.68%	64	88.93%	89	91.91%
15	91.05%	40	88.68%	65	84.70%	90	85.83%
16	88.97%	41	89.94%	66	89.16%	91	91.20%
17	76.98%	42	87.19%	67	86.47%	92	97.79%
18	84.81%	43	95.44%	68	87.72%	93	87.76%
19	94.60%	44	88.59%	69	86.35%	94	90.35%
20	93.34%	45	88.40%	70	88.94%	95	94.66%
21	89.04%	46	89.80%	71	94.92%	96	91.87%
22	93.85%	47	90.08%	72	80.19%	97	94.99%
23	83.07%	48	84.15%	73	92.45%	98	88.25%
24	79.50%	49	95.88%	74	88.12%	99	87.38%
25	86.47%	50	88.75%	75	86.25%	100	85.95%

Anexo Registro de Datos de la Productividad de la Colocación de Acero en Muro

Tabla. 4 Registro de Productividad de la Colocación de Acero en Muros							
Medición	Productividad	Medición	Productividad	Medición	Productividad	Medición	Productividad
1	70.72%	26	84.51%	51	82.72%	76	72.29%
2	75.92%	27	89.25%	52	66.27%	77	74.74%
3	75.66%	28	82.43%	53	82.75%	78	80.93%
4	74.16%	29	90.54%	54	65.70%	79	91.88%
5	79.91%	30	75.73%	55	72.27%	80	75.71%
6	84.04%	31	78.19%	56	71.92%	81	80.06%
7	81.55%	32	73.06%	57	69.19%	82	78.72%
8	75.91%	33	68.48%	58	90.17%	83	83.45%
9	78.17%	34	85.93%	59	70.13%	84	84.45%
10	79.04%	35	95.74%	60	82.35%	85	73.87%
11	69.79%	36	79.51%	61	75.29%	86	84.25%
12	84.59%	37	77.96%	62	80.10%	87	80.77%
13	85.01%	38	75.51%	63	74.05%	88	71.03%
14	78.90%	39	74.74%	64	74.90%	89	78.44%
15	75.87%	40	73.96%	65	80.33%	90	90.93%
16	68.08%	41	79.02%	66	90.90%	91	84.40%
17	76.44%	42	72.69%	67	78.30%	92	66.83%
18	93.96%	43	74.58%	68	84.03%	93	87.72%
19	82.25%	44	75.68%	69	80.80%	94	68.09%
20	92.96%	45	76.33%	70	78.68%	95	86.45%
21	82.63%	46	73.02%	71	81.53%	96	83.25%
22	69.11%	47	83.07%	72	69.45%	97	78.04%
23	88.54%	48	73.00%	73	73.59%	98	83.39%
24	89.02%	49	71.69%	74	88.82%	99	90.28%
25	88.54%	50	81.36%	75	80.45%	100	70.20%

Anexo: Registro de Datos de Productividad de la Colocación de Acero en Losa

Tabla. 6 Registro de Productividad de la Colocación de Acero en Losa							
Medición	Productividad	Medición	Productividad	Medición	Productividad	Medición	Productividad
1	88.23%	26	93.87%	51	78.30%	76	76.81%
2	86.97%	27	85.47%	52	90.16%	77	89.04%
3	86.46%	28	92.38%	53	97.41%	78	74.41%
4	78.21%	29	91.53%	54	89.61%	79	78.37%
5	83.82%	30	80.97%	55	85.43%	80	93.45%
6	83.21%	31	90.50%	56	85.48%	81	91.93%
7	89.10%	32	79.06%	57	75.98%	82	72.16%
8	83.89%	33	96.42%	58	80.76%	83	89.84%
9	91.33%	34	87.02%	59	97.00%	84	86.96%
10	83.78%	35	97.95%	60	84.01%	85	80.12%
11	82.36%	36	74.23%	61	76.39%	86	95.00%
12	92.96%	37	86.42%	62	90.37%	87	84.90%
13	86.76%	38	78.01%	63	84.39%	88	79.34%
14	92.71%	39	78.65%	64	83.01%	89	91.70%
15	89.55%	40	86.08%	65	92.13%	90	83.85%
16	80.65%	41	78.98%	66	83.70%	91	91.01%
17	96.44%	42	82.68%	67	93.09%	92	73.71%
18	80.34%	43	83.66%	68	82.87%	93	81.87%
19	81.44%	44	88.33%	69	82.44%	94	87.04%
20	83.50%	45	79.80%	70	83.08%	95	88.49%
21	78.08%	46	75.95%	71	83.64%	96	84.46%
22	80.91%	47	81.96%	72	80.11%	97	80.96%
23	92.71%	48	85.48%	73	89.71%	98	92.71%
24	87.74%	49	92.02%	74	90.13%	99	92.77%
25	90.48%	50	76.42%	75	80.93%	100	83.34%

Anexo: Registro de Datos de Productividad de la Colocación de Formaleta

<i>Tabla. 8 Registro de Productividad de la Colocación de Formaleta</i>							
Medición	Productividad	Medición	Productividad	Medición	Productividad	Medición	Productividad
1	77.72%	26	89.88%	51	88.76%	76	81.54%
2	75.95%	27	83.02%	52	82.68%	77	88.93%
3	86.99%	28	72.65%	53	69.87%	78	80.31%
4	90.32%	29	81.10%	54	81.96%	79	89.11%
5	79.46%	30	95.06%	55	79.86%	80	92.17%
6	96.10%	31	90.75%	56	85.87%	81	77.03%
7	87.79%	32	76.49%	57	94.25%	82	83.60%
8	80.92%	33	85.02%	58	76.82%	83	75.86%
9	88.80%	34	84.58%	59	93.73%	84	90.69%
10	87.90%	35	78.31%	60	92.00%	85	84.65%
11	75.08%	36	86.12%	61	92.57%	86	83.37%
12	80.00%	37	85.86%	62	86.57%	87	76.30%
13	93.66%	38	85.02%	63	96.06%	88	84.51%
14	76.76%	39	76.85%	64	75.53%	89	80.76%
15	82.59%	40	73.30%	65	86.78%	90	90.80%
16	81.82%	41	90.62%	66	80.33%	91	81.77%
17	78.78%	42	69.27%	67	80.70%	92	80.28%
18	81.66%	43	81.72%	68	76.23%	93	82.14%
19	99.63%	44	88.64%	69	80.19%	94	68.51%
20	81.33%	45	84.21%	70	77.32%	95	98.41%
21	84.92%	46	79.24%	71	90.21%	96	78.96%
22	86.87%	47	77.59%	72	82.09%	97	81.71%
23	85.56%	48	89.31%	73	87.00%	98	85.97%
24	85.54%	49	80.47%	74	83.41%	99	81.19%
25	93.69%	50	82.54%	75	83.71%	100	87.39%

Anexo: Registro de Datos de Productividad del Desencofrado

Tabla. 10 Registro de Productividad del Desencofrado							
Medición	Productividad	Medición	Productividad	Medición	Productividad	Medición	Productividad
1	90.84%	26	84.67%	51	96.76%	76	88.28%
2	79.24%	27	86.52%	52	92.95%	77	78.89%
3	82.00%	28	85.47%	53	95.86%	78	81.46%
4	86.32%	29	78.77%	54	86.24%	79	92.82%
5	90.51%	30	93.52%	55	85.36%	80	92.27%
6	90.84%	31	87.25%	56	94.72%	81	86.79%
7	83.94%	32	96.45%	57	92.32%	82	98.81%
8	83.35%	33	94.83%	58	91.74%	83	76.63%
9	92.63%	34	83.07%	59	89.41%	84	85.92%
10	97.28%	35	91.18%	60	83.02%	85	73.54%
11	91.28%	36	76.90%	61	87.09%	86	85.56%
12	79.44%	37	88.91%	62	81.42%	87	94.26%
13	87.98%	38	94.15%	63	79.43%	88	80.87%
14	94.69%	39	92.18%	64	77.96%	89	93.01%
15	81.73%	40	83.50%	65	91.32%	90	87.40%
16	98.34%	41	92.51%	66	96.76%	91	85.42%
17	93.47%	42	87.59%	67	93.38%	92	88.85%
18	83.22%	43	93.40%	68	84.82%	93	83.40%
19	81.06%	44	84.33%	69	83.52%	94	91.95%
20	91.54%	45	86.64%	70	96.87%	95	95.20%
21	91.03%	46	94.55%	71	88.38%	96	79.58%
22	84.45%	47	87.93%	72	78.35%	97	89.06%
23	75.10%	48	87.77%	73	73.09%	98	86.04%
24	92.08%	49	88.09%	74	84.04%	99	92.33%
25	89.71%	50	81.01%	75	84.61%	100	83.05%

Anexo: Registro de Datos de Productividad del Colado de Concreto

Tabla. 12 Registro de Productividad del Colado de Concreto							
Medición	Productividad	Medición	Productividad	Medición	Productividad	Medición	Productividad
1	84.63%	26	77.45%	51	84.14%	76	84.18%
2	86.40%	27	78.86%	52	81.99%	77	90.48%
3	84.59%	28	78.14%	53	96.24%	78	85.78%
4	96.47%	29	80.39%	54	84.05%	79	75.55%
5	90.80%	30	70.02%	55	85.56%	80	95.45%
6	87.12%	31	95.14%	56	85.83%	81	82.31%
7	80.69%	32	81.80%	57	90.82%	82	93.24%
8	91.78%	33	88.01%	58	85.40%	83	79.14%
9	97.03%	34	78.65%	59	80.13%	84	99.56%
10	81.03%	35	98.56%	60	99.38%	85	94.22%
11	83.10%	36	85.55%	61	84.03%	86	87.89%
12	87.74%	37	84.35%	62	72.99%	87	90.41%
13	84.39%	38	85.27%	63	92.33%	88	77.65%
14	78.24%	39	88.85%	64	88.30%	89	75.12%
15	87.51%	40	91.38%	65	97.70%	90	72.25%
16	87.45%	41	81.56%	66	90.89%	91	92.57%
17	89.84%	42	89.86%	67	89.43%	92	95.73%
18	85.01%	43	87.48%	68	86.48%	93	94.58%
19	94.02%	44	77.65%	69	86.58%	94	87.25%
20	87.05%	45	95.99%	70	96.01%	95	86.47%
21	76.96%	46	85.67%	71	89.61%	96	91.05%
22	87.95%	47	82.10%	72	84.76%	97	84.20%
23	83.88%	48	82.62%	73	84.60%	98	78.32%
24	88.66%	49	94.47%	74	86.37%	99	87.47%
25	86.18%	50	79.89%	75	83.88%	100	88.98%

Anexo: Registro de Datos de Tiempo de Fabricación de Elementos de Refuerzo en Acero

Tabla 14. Estimación de Tiempos de Fabricación de Elementos de Refuerzo	
Medición	Tiempo (hrs)
1	0.60
2	0.65
3	0.77
4	0.78
5	0.72
6	0.82
7	0.90
8	0.83
9	0.82
10	0.67
11	0.78
12	0.82
13	0.73
14	0.75
15	0.77
16	0.92
17	0.92
18	0.70
19	0.78
20	0.70
21	0.65
22	0.72
23	0.73
24	0.80
25	0.83
26	0.63
27	0.85
28	0.80
29	0.73
30	0.67

Anexo: Registro de Datos de Tiempo de Colocación de Acero en Muros

Tabla 16. Estimación de Tiempos de Acero en Muros			
Medición	Tiempo (hrs)	Medición	Tiempo (hrs)
1	21.6	26	24.7
2	26.0	27	22.4
3	24.1	28	23.9
4	23.8	29	24.1
5	28.7	30	29.7
6	24.5	31	23.3
7	23.8	32	24.4
8	25.5	33	26.9
9	23.3	34	24.3
10	22.4	35	27.4
11	22.7	36	24.1
12	26.4	37	24.6
13	21.7	38	28.3
14	23.3	39	24.4
15	25.8	40	25.9
16	26.0	41	26.6
17	23.1	42	22.2
18	23.9	43	24.7
19	26.5	44	24.3
20	23.5	45	21.0
21	24.5	46	19.6
22	28.2	47	28.8
23	23.3	48	25.0
24	24.9	49	26.3
25	23.4	50	25.3

Anexo: Registro de Datos de Tiempo de Colocación de Acero en Losa

Tabla 18. Estimación de Tiempos de Colocación de Acero en Losa			
Medición	Tiempo (hrs)	Medición	Tiempo (hrs)
1	2.56	26	2.96
2	2.94	27	2.65
3	3.07	28	2.23
4	3.04	29	2.90
5	2.97	30	2.49
6	3.03	31	2.88
7	2.50	32	2.83
8	2.59	33	2.86
9	2.99	34	2.81
10	2.87	35	2.95
11	2.62	36	2.32
12	2.85	37	1.98
13	2.83	38	2.49
14	3.12	39	3.11
15	2.64	40	3.22
16	2.63	41	2.82
17	2.40	42	3.24
18	2.47	43	3.16
19	2.54	44	2.51
20	2.53	45	2.87
21	2.58	46	2.88
22	2.50	47	3.11
23	2.68	48	2.87
24	2.81	49	2.16
25	3.48	50	2.79

Anexo: Registro de Datos de Tiempos de Colocación de Formaleta

<i>Tabla 20. Estimación de Tiempos de Colocación de Formaleta</i>			
<i>Medición</i>	<i>Tiempo (hrs)</i>	<i>Medición</i>	<i>Tiempo (hrs)</i>
1	4.87	26	4.41
2	4.78	27	4.54
3	5.12	28	4.29
4	4.67	29	4.90
5	4.62	30	4.88
6	4.63	31	4.59
7	4.60	32	4.07
8	4.35	33	5.00
9	4.57	34	4.60
10	4.62	35	4.68
11	4.69	36	4.83
12	4.84	37	4.98
13	5.34	38	4.77
14	4.48	39	4.26
15	4.31	40	4.44
16	4.68	41	4.43
17	4.42	42	4.77
18	4.04	43	4.41
19	4.54	44	4.39
20	4.49	45	4.73
21	4.86	46	4.74
22	4.38	47	4.70
23	4.78	48	4.63
24	5.01	49	4.65
25	4.45	50	5.09

Anexo: Registro de Datos de Tiempo en el Desencofrado

Tabla 22. Estimación de Tiempos de Desencofrado			
Medición	Tiempo (hrs)	Medición	Tiempo (hrs)
1	1.85	26	2.20
2	2.07	27	2.04
3	2.07	28	2.46
4	2.12	29	2.07
5	2.22	30	2.61
6	2.26	31	2.81
7	2.27	32	2.54
8	2.29	33	2.20
9	2.29	34	2.32
10	2.29	35	2.71
11	2.32	36	2.78
12	2.33	37	2.60
13	2.39	38	2.48
14	2.39	39	2.59
15	2.39	40	2.68
16	2.41	41	2.23
17	2.44	42	2.71
18	2.45	43	2.69
19	2.49	44	2.45
20	2.50	45	1.95
21	2.54	46	1.96
22	2.56	47	2.36
23	2.61	48	2.41
24	2.63	49	2.46
25	3.00	50	2.47

Anexo: Registro de Datos de Tiempos en el Colado del Concreto

Tabla 24. Estimación de Tiempos del Colado de Concreto			
Medición	Tiempo (hrs)	Medición	Tiempo (hrs)
1	2.80	26	2.79
2	2.80	27	2.66
3	2.17	28	2.59
4	2.81	29	2.54
5	3.28	30	2.75
6	3.01	31	3.45
7	2.71	32	2.77
8	2.94	33	3.09
9	2.61	34	2.82
10	2.73	35	3.11
11	2.80	36	3.18
12	2.61	37	3.15
13	3.04	38	2.67
14	3.17	39	2.20
15	2.44	40	3.20
16	2.91	41	3.27
17	3.10	42	2.66
18	2.71	43	2.98
19	2.72	44	3.22
20	3.09	45	2.78
21	2.73	46	2.82
22	2.65	47	2.89
23	2.36	48	2.63
24	2.93	49	3.33
25	2.97	50	2.97

Anexo: Rendimientos de Colocación de Acero en Losa

Tabla 25. Rendimientos de la Colocación de Acero en Losa					
Sección	Piso	Cantidad de Acero de Losa	Tiempo Acero Losa	Rendimiento	Rendimiento
		(Ton)	(hrs)	(Ton/hr)	(hrs-h/ton)
1	7	1.45	3.07	0.47	2.11
	8	1.46	-	-	-
	9	1.45	2.64	0.55	1.81
	10	1.46	2.58	0.57	1.77
	11	1.46	2.65	0.55	1.82
	12	1.46	-	-	-
	13	1.46	-	-	-
	14	1.45	-	-	-
	15	1.79	3.11	0.58	1.74
Promedio		1.49	2.81	0.54	1.85
2	7	1.58	3.04	0.52	1.93
	8	1.55	2.87	0.54	1.85
	9	1.58	2.63	0.60	1.67
	10	1.55	-	-	-
	11	1.55	2.50	0.62	1.61
	12	1.55	2.81	0.55	1.81
	13	1.55	2.23	0.69	1.44
	14	1.58	2.88	0.55	1.83
	15	1.78	-	-	-
Promedio		1.58	2.71	0.58	1.73
3	7	1.33	2.97	0.45	2.23
	8	1.37	2.62	0.52	1.92
	9	1.33	2.40	0.56	1.80
	10	1.37	2.68	0.51	1.96
	11	1.37	2.90	0.47	2.12
	12	1.37	2.95	0.46	2.16
	13	1.37	2.82	0.48	2.07
	14	1.33	3.11	0.43	2.34
	15	1.81	3.22	0.56	1.78
Promedio		1.40	2.85	0.49	2.04
4	7	1.81	3.03	0.60	1.67
	8	1.83	2.86	0.64	1.56
	9	1.81	2.47	0.73	1.36

	10	1.83	2.81	0.65	1.53
	11	1.81	2.49	0.73	1.38
	12	1.81	2.32	0.78	1.28
	13	1.81	2.16	0.84	1.19
	14	1.81	2.87	0.63	1.59
	15	1.83	3.24	0.56	1.77
	Promedio	1.82	2.69	0.69	1.48
5	7	1.49	2.99	0.50	2.01
	8	1.50	2.83	0.53	1.88
	9	1.49	2.54	0.59	1.71
	10	1.50	2.85	0.53	1.90
	11	1.50	2.88	0.52	1.92
	12	1.50	1.98	0.76	1.32
	13	1.50	2.50	0.60	1.67
	14	1.49	2.87	0.52	1.93
	15	1.85	3.48	0.53	1.88
	Promedio	1.54	2.77	0.56	1.80
6	7	1.65	2.59	0.64	1.57
	8	1.63	3.12	0.52	1.91
	9	1.65	2.53	0.65	1.54
	10	1.63	2.96	0.55	1.81
	11	1.63	2.83	0.58	1.73
	12	1.63	2.49	0.66	1.53
	13	1.63	2.51	0.65	1.54
	14	1.65	2.79	0.59	1.69
	15	1.87	3.16	0.59	1.69
	Promedio	1.66	2.78	0.60	1.67

Anexo: Rendimientos de Colocación de Acero en Muros

Tabla 26. Rendimientos de la Colocación de Acero en Muros					
Sección	Piso	Tiempo Acero en Muros	Cantidad de Acero en Muros	Rendimiento	Rendimiento
		(hrs)	(ton)	(ton/hr)	(hrs-h/ton)
1	7	24.10	4.55	0.189	5.301
	8	-	4.64	-	-
	9	25.84	4.55	0.176	5.683
	10	24.53	4.64	0.189	5.284
	11	22.37	4.64	0.208	4.819
	12	-	4.64	-	-
	13	-	4.64	-	-
	14	-	4.55	-	-
	15	26.42	4.31	0.163	6.129
Promedio		24.65	4.57	0.185	5.443
2	7	23.83	4.57	0.192	5.209
	8	22.42	4.55	0.203	4.926
	9	26.04	4.57	0.176	5.692
	10	-	4.55	-	-
	11	24.35	4.55	0.187	5.350
	12	24.30	4.55	0.187	5.339
	13	25.88	4.55	0.176	5.684
	14	19.59	4.57	0.233	4.283
	15	-	4.32	-	-
Promedio		23.77	4.53	0.193	5.212
3	7	23.92	4.87	0.204	4.912
	8	22.71	4.74	0.209	4.796
	9	23.07	4.87	0.211	4.738
	10	23.28	4.74	0.203	4.915
	11	24.14	4.74	0.196	5.099
	12	27.38	4.74	0.173	5.781
	13	26.60	4.74	0.178	5.617
	14	23.77	4.87	0.205	4.881
	15	-	4.32	-	-
Promedio		24.36	4.73	0.197	5.092
4	7	24.49	4.09	0.167	5.989
	8	26.91	4.27	0.159	6.306

	9	23.92	4.09	0.171	5.850
	10	24.87	4.27	0.172	5.829
	11	29.73	4.29	0.144	6.929
	12	24.14	4.29	0.178	5.626
	13	22.17	4.29	0.193	5.169
	14	24.99	4.09	0.164	6.111
	15	26.31	4.27	0.162	6.161
	Promedio	25.28	4.22	0.168	5.997
5	7	23.31	4.31	0.185	5.407
	8	21.66	4.60	0.212	4.708
	9	26.55	4.31	0.162	6.157
	10	23.43	4.60	0.196	5.093
	11	23.28	4.60	0.198	5.059
	12	24.59	4.60	0.187	5.345
	13	24.67	4.60	0.187	5.362
	14	21.02	4.31	0.205	4.876
	15	28.68	4.25	0.148	6.747
	Promedio	24.13	4.47	0.187	5.417
6	7	25.52	4.45	0.174	5.731
	8	23.25	4.47	0.192	5.206
	9	23.52	4.45	0.189	5.281
	10	24.70	4.47	0.181	5.529
	11	24.40	4.47	0.183	5.462
	12	28.27	4.47	0.158	6.328
	13	24.31	4.47	0.184	5.443
	14	25.33	4.45	0.176	5.688
	15	28.78	4.23	0.147	6.802
	Promedio	25.34	4.44	0.176	5.719

Anexo: Rendimiento de Colocación de Formaleta y Desencofrado

Tabla 27. Rendimiento de la Colocación de Formaleta y Desencofrado								
Sección	Piso	Tiempo de Colocación de Formaleta	Cantidad de Formaleta	Rendimiento de Colocación de Formaleta	Rendimiento de Colocación de Formaleta	Tiempo de Desencofrado	Rendimiento de Desencofrado	Rendimiento de Desencofrado
		Hrs	(m ²)	(m ² /hr)	hrs-h/m ²	(hrs)	m ² /hr	hrs-h/m ²
1	7	4.60	411.45	89.52	0.0112	1.96	209.70	0.009
	8	-	417.94	-	-	-	-	-
	9	4.31	411.45	95.40	0.0105	2.29	180.03	0.013
	10	4.86	417.94	86.08	0.0116	2.36	177.36	0.013
	11	4.54	417.94	92.10	0.0109	2.44	171.15	0.014
	12	-	417.94	-	-	-	-	-
	13	-	417.94	-	-	-	-	-
	14	-	411.45	-	-	-	-	-
	15	5.34	405.45	75.91	0.0132	2.07	195.69	0.011
Promedio		4.73	414.39	87.80	0.01146	0.0115	186.78	0.012
2	7	4.67	423.61	90.67	0.0110	2.04	208.08	0.010
	8	4.62	419.92	90.92	0.0110	2.20	190.65	0.012
	9	4.68	423.61	90.50	0.0110	2.29	185.26	0.012
	10	-	419.92	-	-	-	-	-
	11	4.26	419.92	98.66	0.0101	2.59	162.11	0.016
	12	4.60	419.92	91.32	0.0109	2.49	168.48	0.015
	13	4.44	419.92	94.58	0.0106	2.60	161.76	0.016
	14	4.74	423.61	89.43	0.0112	2.71	156.37	0.017
	15	-	405.08	-	-	-	-	-
Promedio		4.57	419.50	92.30	0.01085	0.0108	176.10	0.014
3	7	4.62	421.44	91.21	0.0110	2.07	203.83	0.010
	8	4.69	415.93	88.74	0.0113	2.22	187.70	0.012
	9	4.42	421.44	95.34	0.0105	2.29	184.28	0.012
	10	4.78	415.93	86.96	0.0115	2.39	174.12	0.014
	11	4.90	415.93	84.92	0.0118	2.45	169.56	0.014
	12	4.68	415.93	88.82	0.0113	2.50	166.60	0.015
	13	4.43	415.93	93.87	0.0107	2.61	159.54	0.016
	14	4.70	421.44	89.73	0.0111	2.71	155.28	0.017
	15	5.12	391.70	76.50	0.0131	2.81	139.51	0.020
Promedio		4.70	415.07	88.45	0.01135	0.0113	171.159	0.015
4	7	4.63	412.92	89.20	0.0112	2.07	199.47	0.010
	8	4.38	426.15	97.30	0.0103	2.48	171.85	0.014

	9	4.04	412.92	102.25	0.0098	2.32	178.21	0.013
	10	4.84	426.15	88.04	0.0114	2.39	178.20	0.013
	11	4.88	425.64	87.27	0.0115	2.46	173.22	0.014
	12	4.83	425.64	88.11	0.0113	2.54	167.58	0.015
	13	4.77	425.64	89.20	0.0112	2.61	163.02	0.016
	14	4.63	412.92	89.19	0.0112	2.78	148.55	0.019
	15	5.09	399.42	78.45	0.0127	2.23	179.07	0.012
	Promedio	4.68	418.60	89.89	0.01118	0.0112	173.241	0.014
5	7	4.57	399.57	87.51	0.0114	2.20	181.98	0.012
	8	4.29	418.87	97.58	0.0102	2.26	185.05	0.012
	9	4.54	399.57	88.07	0.0114	2.32	171.97	0.014
	10	4.45	418.87	94.05	0.0106	2.41	173.98	0.014
	11	4.59	418.87	91.28	0.0110	2.46	169.94	0.015
	12	4.98	418.87	84.15	0.0119	2.54	164.88	0.015
	13	4.41	418.87	95.03	0.0105	2.63	159.30	0.017
	14	4.73	399.57	84.43	0.0118	2.69	148.64	0.018
	15	5.01	394.35	78.79	0.0127	2.45	160.92	0.015
	Promedio	4.62	409.71	88.99	0.01128	0.0113	168.52	0.015
6	7	4.35	422.01	96.92	0.0103	2.12	199.08	0.011
	8	4.48	421.79	94.15	0.0106	2.27	185.44	0.012
	9	4.49	422.01	94.05	0.0106	2.33	180.84	0.013
	10	4.41	421.79	95.75	0.0104	2.41	174.69	0.014
	11	4.07	421.79	103.63	0.0096	2.47	170.78	0.014
	12	4.77	421.79	88.48	0.0113	2.56	164.95	0.016
	13	4.39	421.79	96.10	0.0104	2.68	157.47	0.017
	14	4.65	422.01	90.75	0.0110	3.00	140.75	0.021
	15	5.00	392.17	78.46	0.0127	2.39	164.37	0.015
	Promedio	4.51	418.58	93.14	0.01079	0.0108	170.93	0.015

Anexo: Rendimiento de Colocación de Concreto

Tabla 28. Rendimientos de la Colocación de Concreto								
Sección	Piso	Nivel	Tipo de Descarga	Volumen Teórico	Volumen Colocado	Tiempo de Colado	Rendimiento	Rendimiento
				(m³)	(m³)	(hrs)	(m³/hr)	hrs-h/m³
1	7	16.34 - 18.98	Bomba Telescópica	43.00	43.00	2.17	19.81	0.050
	8	18.98 - 21.62	Bomba Telescópica	43.00	45.00	0.00	0.00	0.000
	9	21.62 - 24.26	Bomba Telescópica	43.00	44.00	2.44	18.04	0.055
	10	24.27 - 26.90	Bomba Telescópica	43.00	43.00	2.73	15.76	0.063
	11	26.90 - 29.54	Bomba Telescópica	42.00	43.00	2.66	16.19	0.062
	12	29.54 - 32.18	Bomba Estacionaria	42.00	42.00	0.00	0.00	0.000
	13	32.18 - 34.82	Bomba Estacionaria	42.00	42.00	0.00	0.00	0.000
	14	34.82 - 37.46	Bomba Estacionaria	42.00	42.00	0.00	0.00	0.000
	15	37.46 - 40.10	Bomba Estacionaria	40.00	40.00	3.20	12.50	0.080
Promedio				42.22	42.67	1.47	9.14	0.035
2	7	16.34 - 18.98	Bomba Telescópica	43.00	42.50	2.81	15.13	0.066
	8	18.98 - 21.62	Bomba Telescópica	43.00	44.50	2.73	16.32	0.061
	9	21.62 - 24.26	Bomba Telescópica	43.00	43.50	2.91	14.97	0.067
	10	24.27 - 26.90	Bomba Telescópica	43.00	43.00	0.00	0.00	0.000
	11	26.90 - 29.54	Bomba Telescópica	42.00	42.00	2.20	19.09	0.052
	12	29.54 - 32.18	Bomba Estacionaria	42.00	42.00	2.82	14.87	0.067
	13	32.18 - 34.82	Bomba Estacionaria	41.00	41.00	2.71	15.11	0.066
	14	34.82 - 37.46	Bomba Estacionaria	41.00	44.50	2.82	15.75	0.063
	15	37.46 - 40.10	Bomba Estacionaria	41.00	41.00	0.00	0.00	0.000
Promedio				42.11	42.67	2.11	12.36	0.049
3	7	16.34 - 18.98	Bomba Telescópica	39.00	40.00	3.28	12.20	0.082
	8	18.98 - 21.62	Bomba	39.00	41.00	2.80	14.65	0.068

			<i>Telescópica</i>					
	9	21.62 - 24.26	<i>Bomba Telescópica</i>	39.00	42.00	3.10	13.54	0.074
	10	24.27 - 26.90	<i>Bomba Telescópica</i>	39.00	41.00	2.36	17.39	0.058
	11	26.90 - 29.54	<i>Bomba Telescópica</i>	40.00	41.00	2.54	16.14	0.062
	12	29.54 - 32.18	<i>Bomba Estacionaria</i>	40.00	40.00	3.11	12.87	0.078
	13	32.18 - 34.82	<i>Bomba Estacionaria</i>	40.00	39.00	2.61	14.94	0.067
	14	34.82 - 37.46	<i>Bomba Estacionaria</i>	40.00	41.00	2.89	14.20	0.070
	15	37.46 - 40.10	<i>Bomba Estacionaria</i>	45.00	48.00	3.17	15.13	0.066
	Promedio			40.11	41.44	2.87	14.56	0.069
4	7	16.34 - 18.98	<i>Bomba Telescópica</i>	45.00	46.00	3.01	15.27	0.065
	8	18.98 - 21.62	<i>Bomba Telescópica</i>	45.00	49.00	3.09	15.88	0.063
	9	21.62 - 24.26	<i>Bomba Telescópica</i>	45.00	45.00	2.71	16.62	0.060
	10	24.27 - 26.90	<i>Bomba Telescópica</i>	44.50	44.50	2.93	15.18	0.066
	11	26.90 - 29.54	<i>Bomba Telescópica</i>	44.50	45.00	2.75	16.35	0.061
	12	29.54 - 32.18	<i>Bomba Estacionaria</i>	44.50	44.50	2.65	16.79	0.060
	13	32.18 - 34.82	<i>Bomba Estacionaria</i>	44.00	44.00	2.66	16.52	0.061
	14	34.82 - 37.46	<i>Bomba Estacionaria</i>	44.00	46.50	2.63	17.69	0.057
	15	37.46 - 40.10	<i>Bomba Estacionaria</i>	54.50	56.00	3.33	16.84	0.059
	Promedio			45.67	46.72	2.86	16.35	0.061
5	7	16.34 - 18.98	<i>Bomba Telescópica</i>	42.00	42.00	2.61	16.07	0.062
	8	18.98 - 21.62	<i>Bomba Telescópica</i>	41.00	44.00	3.04	14.45	0.069
	9	21.62 - 24.26	<i>Bomba Telescópica</i>	42.00	42.00	2.72	15.41	0.065
	10	24.27 - 26.90	<i>Bomba Telescópica</i>	41.00	42.00	2.97	14.16	0.071
	11	26.90 - 29.54	<i>Bomba Telescópica</i>	40.00	43.00	3.45	12.48	0.080
	12	29.54 - 32.18	<i>Bomba Estacionaria</i>	40.00	44.00	3.15	13.95	0.072
	13	32.18 - 34.82	<i>Bomba</i>	41.00	42.00	2.98	14.09	0.071

			<i>Estacionaria</i>					
	14	34.82 - 37.46	<i>Bomba Estacionaria</i>	41.00	41.50	2.78	14.92	0.067
	15	37.46 - 40.10	<i>Bomba Estacionaria</i>	41.00	41.00	3.27	12.55	0.080
	Promedio			41.00	42.39	3.00	14.23	0.071
6	7	16.34 - 18.98	<i>Bomba Telescópica</i>	41.50	42.00	2.94	14.28	0.070
	8	18.98 - 21.62	<i>Bomba Telescópica</i>	43.50	42.00	2.59	16.23	0.062
	9	21.62 - 24.26	<i>Bomba Telescópica</i>	41.50	41.50	3.09	13.43	0.074
	10	24.27 - 26.90	<i>Bomba Telescópica</i>	43.50	42.00	2.79	15.04	0.066
	11	26.90 - 29.54	<i>Bomba Telescópica</i>	43.00	42.50	2.77	15.35	0.065
	12	29.54 - 32.18	<i>Bomba Estacionaria</i>	42.00	42.00	2.67	15.71	0.064
	13	32.18 - 34.82	<i>Bomba Estacionaria</i>	40.00	40.00	3.22	12.42	0.080
	14	34.82 - 37.46	<i>Bomba Estacionaria</i>	40.00	41.00	2.97	13.79	0.073
	15	37.46 - 40.10	<i>Bomba Estacionaria</i>	40.00	40.00	3.18	12.59	0.079
	Promedio			41.67	41.44	2.91	14.32	0.070

Anexo: Tablas de Toma de Medidas

Proceso	Fabricación de Elementos de Acero				
Fecha					
Hora					
Observación					
Actividades Productivas					
Escogencia de Varilla					
Transporte de Varilla					
Corte de varilla					
Colocación y Posición Banco					
Doblado de varilla					
Rectificación de medidas					
Actividades No Productivas					
Hablar					
Celular					
Fumar					
Otros					
Total					
Porcentaje de Productividad					
Porcentaje No Productivo					

Anexo: Tablas de Toma de Medidas

Proceso	Colocación de Acero en Muros				
Fecha					
Hora					
Observación					
Actividades Productivas	1	2	3	4	5
Trazado de Paredes					
Escogencia del Elemento					
Transporte de Elemento					
Posicionamiento del Elemento					
Anclaje a posición correcta					
Corte de Sobrante de Amarras					
Colocación de Anclaje Temporal					
Actividades No productivas					
Hablar					
Celular					
Fumar					
Otros					
Total					
Porcentaje de Productividad					
Porcentaje No Productivo					

Anexo: Tablas de Toma de Medidas

Proceso	Colocación de Acero en Losa				
Fecha					
Hora					
Observación					
Actividades Productivas	1	2	3	4	5
Transporte de Malla Electrosoldada					
Corte de Malla Electr.					
Colocación de malla					
Colocación de espaciadores de concreto					
Colocación de Bastones					
Colocación de espaciador de acero					
Elaboración de Malla Superior					
Anclaje de Malla Superior					
Revisión de configuración de acero					
Actividades No productivas					
Hablar					
Celular					
Fumar					
Otros					
Total					
Porcentaje de Productividad					
Porcentaje No Productivo					

Anexo: Tablas de Toma de Medidas

Proceso	Desencofrado				
Fecha					
Hora					
Observación					
Actividades Productivas	1	2	3	4	5
Remoción de Puntales					
Escogencia de Panel					
Desacople de Grapas-Pasadores-Cuñas					
Extracción de Panel de Losa					
Transporte a la siguiente sección					
Remoción del Sistema de Alineación					
Extracción de Cuñas					
Extracción de Pines					
Extracción de Panel de Muro					
Extracción de Corbata					
Transporte de Panel					
Actividades No productivas					
Hablar					
Celular					
Fumar					
Otros					
Total					
Porcentaje de Productividad					
Porcentaje No Productivo					

Anexo: Tablas de Toma de Medidas

Proceso	Colocación de Formaleta				
Fecha					
Hora					
Observación					
Actividades Productivas	1	2	3	4	5
Trazado de Paredes					
Escogencia de Panel de Muro					
Transporte de Panel					
Limpieza de Panel de Muro					
Aplicación de Desmoldante					
Colocación de Panel de Muro					
Colocación de Panel de Muro					
Unión de Unión Muro-Losa					
Escogencia del Panel de Losa					
Transporte de Panel de Losa					
Limpieza de panel de Losa					
Colocación de Panel de Losa					
Apuntalamiento de Losa					
Apuntalamiento de Muros					
Sistema de Alineación					
Aplicación de Diesel					
Colocación de Niveles y Maestras					
Actividades No productivas					
Hablar					
Celular					
Fumar					
Otros					
Total					
Porcentaje de Productividad					
Porcentaje No Productivo					

Anexo: Calendario de Colado de Concreto

Febrero 2010						
lunes	martes	miércoles	jueves	viernes	sábado	domingo
1 Colado de Concreto Nivel 6 Sección 6 43.5 m³	2 Colado de Concreto Nivel 6 Sección 5 43 m³	3	4 Colado de Concreto Nivel 7 Sección 1 43 m³	5 Colado de Concreto Nivel 7 Sección 2 42.5 m³	6	7
8 Colado de Concreto Nivel 7 Sección 3 40 m³	9 Colado de Concreto Nivel 7 Sección 4 46 m³	10 Colado de Concreto Nivel 7 Sección 5 42 m³	11 Colado de Concreto Nivel 7 Sección 6 42 m³	12	13 Colado de Concreto Nivel 8 Sección 1 45 m³	14
15 Colado de Concreto Nivel 8 Sección 2 44.5 m³	16 Colado de Concreto Nivel 8 Sección 3 41 m³	17 Colado de Concreto Nivel 8 Sección 4 49 m³	18 Colado de Concreto Nivel 8 Sección 5 44 m³	19 Colado de Concreto Nivel 8 Sección 6 42 m³	20	21
22 Colado de Concreto Nivel 9 Sección 1 44 m³	23 Colado de Concreto Nivel 9 Sección 2 43.5 m³	24	25 Colado de Concreto Nivel 9 Sección 3 42 m³	26 Colado de Concreto Nivel 9 Sección 4 45 m³	27 Colado de Concreto Nivel 9 Sección 5 42 m³	28

Anexo: Calendario de Colado de Concreto

Marzo 2010						
lunes	martes	miércoles	jueves	viernes	sábado	domingo
1	2 Colado de Concreto Nivel 9 Sección 7 41.5 m³	3	4 Colado de Concreto Nivel 10 Sección 1 43 m³	5	6 Colado de Concreto Nivel 10 Sección 2 43 m³	7
8 Colado de Concreto Nivel 10 Sección 3 41 m³	9 Colado de Concreto Nivel 10 Sección 4 44.5 m³	10 Colado de Concreto Nivel 10 Sección 5 42 m³	11 Colado de Concreto Nivel 10 Sección 6 42 m³	12 Colado de Concreto Nivel 11 Sección 1 43 m³	13 Colado de Concreto Nivel 11 Sección 2 42 m³	14
15 Colado de Concreto Nivel 11 Sección 3 45 m³	16 Colado de Concreto Nivel 11 Sección 4 45 m³	17 Colado de Concreto Nivel 11 Sección 5 42.5 m³	18 Colado de Concreto Nivel 11 Sección 6 42.5 m³	19	20 Colado de Concreto Nivel 12 Sección 1 42 m³	21
22 Colado de Concreto Nivel 12 Sección 2 42 m³	23 Colado de Concreto Nivel 12 Sección 3 40 m³	24 Colado de Concreto Nivel 12 Sección 4 44.5 m³	25 Colado de Concreto Nivel 12 Sección 5 44 m³	26 Colado de Concreto Nivel 12 Sección 6 42 m³	27 Colado de Concreto Nivel 13 Sección 1 42 m³	28
29	30	31				

Anexo: Calendario de Colado de Concreto

Abril 2010						
lunes	martes	miércoles	jueves	viernes	sábado	domingo
			1	2	3	4
5 Colado de Concreto Nivel 13 Sección 2 41 m³	6 Colado de Concreto Nivel 13 Sección 3 39 m³	7 Colado de Concreto Nivel 13 Sección 4 44 m³	8 Colado de Concreto Nivel 13 Sección 5 42 m³	9 Colado de Concreto Nivel 13 Sección 6 40 m³	10 Colado de Concreto Nivel 14 Sección 1 42 m³	11
12	13 Colado de Concreto Nivel 14 Sección 2 42 m³	14 Colado de Concreto Nivel 14 Sección 3 41 m³	15 Colado de Concreto Nivel 14 Sección 4 46.5 m	16	17 Colado de Concreto Nivel 14 Sección 5 41.4 m³	18
19 Colado de Concreto Nivel 14 Sección 6 41 m³	20	21	22 Colado de Concreto Nivel 15 Sección 1 40 m³	23	24 Colado de Concreto Nivel 15 Sección 2 41 m³	25
26	27 Colado de Concreto Nivel 15 Sección 3 48 m³	28	29 Colado de Concreto Nivel 15 Sección 4 56 m³	30		

Anexo: Calendario de Colado de Concreto

Mayo 2010						
lunes	martes	miércoles	jueves	viernes	sábado	domingo
					1	2
3 Colado de Concreto Nivel 15 Sección 6 41 m³	4	5 Colado de Concreto Nivel 15 Sección 5 40 m³	6	7 Colado de Concreto Nivel 16 Sección 1 42 m³	8	9
10	11 Colado de Concreto Nivel 16 Sección 2 55 m³	12	13 Colado de Concreto Nivel 16 Sección 5 45 m³	14	15 Colado de Concreto Nivel 16 Sección 6 45 m³	16
17	18	19	20	21	22	23
24	25	26	27	28	29	30
31						

Referencias

- Niebel, B; Freivalds, A. 1996. **INGENIERÍA INDUSTRIAL: MÉTODOS, ESTÁNDARES Y DISEÑO DE TRABAJO.** 11ª Ed. México: Editorial Alfaomega,
- García Criollo, R 2005. **ESTUDIO DEL TRABAJO: INGENIERÍA DE MÉTODOS Y MEDICIÓN DEL TRABAJO.** 4ª Edición. México: Editorial McGraw-Hill
- Kanawaty, G 1998. **INTRODUCCIÓN AL ESTUDIO DEL TRABAJO.** Suecia. Oficina Internacional del Trabajo.
- Forsa S.A. 2010. **CATÁLOGO FORSA 2010.** Colombia; www.forsa.com.co
- Anderson Espinoza, M. 2010. **RECOMENDACIONES PARA IMPLEMENTAR TÉCNICAS DE MEDICIÓN.** Escuela de Ingeniería en Producción Industrial. Comunicación personal.
- LeMaitre González, E. 2010. **RECOMENDACIONES PARA IMPLEMENTAR METODOLOGÍA DE RENDIMIENTOS Y PRODUCTIVIDAD.** Escuela de Ingeniería en Producción Industrial. Comunicación Personal
- Leandro Hernández, A. 2010. **RECOMENDACIONES PARA IMPLEMENTAR METODOLOGÍA DE RENDIMIENTOS Y PRODUCTIVIDAD.** Escuela de Ingeniería en Construcción. Comunicación Personal
- Vargas Guerrero, L. 2010. **RECOMENDACIONES PARA CONTROL DE DATOS Y DISTRIBUCIONES ESTADÍSTICAS.** Comunicación Personal