

**Instituto Tecnológico de Costa Rica
Escuela de Ingeniería en Construcción
Programa de Licenciatura**

**Estudio de productividad y rendimientos en procesos constructivos, mediante el
uso de Grúa Torre**

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

Johan Mena Cubero

Cartago, Junio 2007

Estudio de productividad y rendimientos en procesos constructivos, mediante el uso de Grúa Torre



Abstract

This project consisted of developing an analysis of the productivity and yields related to the operation of the tower crane. This included a breakdown of the principal activities that realizes its time designation during the day of work, its respective yield and productivity.

The present study offers a general idea on the efficiency of this equipment, in the development of activities as the montage of prefabricated beams, montage of slabs, and others. Besides a realization of an analysis to determine the influence the aspects such as productivity and yields on the cost of operation for the tower crane, with base in the amount budget for this activity in the development of the Project EuroCenter, which constructs the company EDICA Ltda.

By means of the elaboration of this project it determines that the tower crane operates on to 83.87 % and that the percentage of unproductive time is 16.13 %. Also one concluded that the cost of operation for the tower crane is of ¢ 95.777.000 in 10 months that it works during the development of the project, this transfers to an hourly cost of ¢ 36.279.

In conclusion, It estimate that the cost which one incurs for concept of dead time is of ¢ 1.099.517 monthly, fact that affirms that it is indispensable to give it an ideal utilization to the tower crane.

Key words: Tower crane, Constructive Processes, Productivity, Yields, Performance, Costs.

Resumen

El proyecto desarrollado consistió en realizar un análisis de la productividad y rendimientos relacionados con la operación de la grúa torre. Se incluye el desglose de las principales actividades que realiza, su peso en tiempo durante la jornada de trabajo, su respectivo rendimiento y productividad.

Este trabajo plantea una idea general acerca de la eficiencia y efectividad de este equipo, en el desarrollo de actividades como el montaje de vigas prefabricadas, montaje de losas de entepiso, chorrea mediante el uso de balde, desformaletos y montaje de paneles de formaleta. Además se llevó a cabo un análisis para determinar como influyen los aspectos de productividad y rendimientos sobre el costo de operación para la grúa torre, con base en el monto presupuestado para esta actividad en el desarrollo del Proyecto EuroCenter, que construye la empresa EDICA Ltda.

En sí, mediante la elaboración del presente estudio se determinó que la grúa torre opera al 83,87% y que el porcentaje de improductividad es de un 16,13%. También se concluyó que el costo de operación para la grúa torre es de ¢95.777.000 en los 10 meses que funciona durante el desarrollo del proyecto, esto se transfiere a un costo horario de ¢36.279.

En conclusión, se estimó que el costo en el que se incurre por concepto de tiempo muerto es de ¢1.099.517 mensual, hecho que afirma que es imprescindible darle un aprovechamiento óptimo a la grúa torre.

Palabras claves: Grúa Torre, Procesos Constructivos, Productividad, Rendimientos, Desempeño, Costos.

Estudio de productividad y rendimientos en procesos constructivos, mediante el uso de Grúa Torre.

Estudio de productividad y rendimientos en procesos constructivos, mediante el uso de Grúa Torre.

JOHAN MENA CUBERO

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

Julio del 2007

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA
ESCUELA DE INGENIERÍA EN CONSTRUCCIÓN

Contenido

Prefacio.....	1
Resumen ejecutivo	2

Marco teórico	3
Introducción.....	5
Metodología	4
Consideraciones generales	5
Resultados	11
Análisis de los resultados	17
Recomendaciones	20
Conclusiones.....	21
Apéndices	22
Anexos	23
Referencias	24

Prefacio

En todos los procesos constructivos que implican el uso de maquinaria se debe tener en cuenta que están estrictamente relacionados con una capacidad de producción específica, por lo tanto, esto obliga a aprovechar este recurso al máximo y con mayor razón si se trata de un equipo tan importante como es una grúa torre pues su desempeño se relaciona directamente con la productividad que generan las condiciones en que es utilizada.

Este proyecto responde a la necesidad de la empresa EDICA Ltda. de poseer parámetros que permitan precisar una idea más objetiva acerca del desempeño de la grúa torre en las diferentes actividades, que integran los procesos constructivos desarrollados en la construcción de la segunda etapa del edificio EuroCenter.

Actualmente, la empresa no cuenta con historiales sobre el uso de este tipo de equipo en el desarrollo de los proyectos, por lo que es de suma importancia recabar información referente a productividad, eficiencia, rendimientos y desempeño de la grúa torre, cuya utilidad en los procesos constructivos es relevante. Con la información obtenida, se podrá garantizar un adecuado control y uso de los recursos que intervienen en el desarrollo de las actividades, además de establecer una base sólida para labores de presupuesto en futuros proyectos.

Consecuentemente se reconoce la importancia de la grúa torre, en el rendimiento y productividad para actividades específicas que se analizaron, así como los factores que pueden aumentar o disminuir estos aspectos, de esta manera se puede lograr una mejor productividad en los procesos constructivos.

Quisiera agradecer a las personas que, directa o indirectamente, colaboraron con el desarrollo de este proyecto, en especial a mi profesora guía la Ing. Ana Grettel Leandro por asesorarme durante su elaboración y al Ing. Javier Vega de la constructora EDICA Ltda. por facilitarme información y darle seguimiento a cada una de las actividades que me permitieron realizar el presente trabajo.

Resumen ejecutivo

El estudio, se basó en la operación de una grúa torre tipo Liebherr 200 HC. Los resultados que se obtuvieron son validos para las circunstancias en las que se desarrolló el proyecto de construcción, puesto que estos resultados dependen de las condiciones del sitio y de las características propias de la instalación de la grúa, los cuales son factores que determinan su capacidad de producción y desempeño.

El objetivo principal del proyecto es describir el comportamiento, en términos generales, tanto del ciclo operativo de la grúa torre como de las actividades que esta realiza, basándose en parámetros referentes a su productividad, rendimientos, costos de operación y desempeño durante la jornada de trabajo. Las técnicas work sampling y crew balance favorecieron la cuantificación de los datos que determinan la productividad, por medio de la selección de diferentes muestras procedentes del sitio en donde se desarrolla la segunda etapa del proyecto EuroCenter.

En cuanto a los resultados descritos, ellos se basan solo en aquellas actividades que son relevantes para el desarrollo del proyecto y en actividades en las que la grúa se utiliza en un mayor porcentaje de tiempo durante la jornada de trabajo.

Además, se establecieron bases confiables para la cuantificación de rendimientos que permitirán optimizar los procesos constructivos, tanto en el aprovechamiento de los recursos, como en los tiempos de ejecución y la programación de actividades para futuros proyectos que asuma la empresa EDICA Ltda., en los que se utilice la grúa torre.

Cabe mencionar que el hecho de que no se cuente con datos previos que permitan verificar y comparar los resultados obtenidos a través de las mediciones tomadas en sitio, constituyen una limitación para el desarrollo del trabajo.

Por otra parte, los procedimientos aplicados permitieron cuantificar datos relevantes

que muestran el comportamiento real de los diferentes procesos que componen las actividades desarrolladas por la grúa torre, así como el desempeño en conjunto con la mano de obra.

Mediante el análisis de productividad se determino que el porcentaje de tiempo improductivo es de un 16.13%, hecho que se traduce en pérdidas al concluir el proyecto si se relaciona con los costos, siendo este uno de los aspectos que requiere mayor control si se toma en cuenta que su costo de operación es muy elevado durante la ejecución de un proyecto.

Marco teórico

Grúa Torre

La grúa torre es una máquina empleada para la elevación y transporte de cargas, esto se hace mediante un gancho suspendido de un cable que se ubica sobre la pluma. Los movimientos de la grúa se pueden realizar en varias direcciones, siempre y cuando, estén dentro de su alcance.

La grúa torre es una estructura de instalación temporal y está diseñada para soportar frecuentes montajes y desmontajes. Está constituida esencialmente por una torre metálica, con un brazo horizontal giratorio, y los motores de orientación y elevación de la carga.

Dentro de los principales elementos que la componen se encuentran:

1. **Mástil:** Consiste en una estructura metálica de sección, normalmente cuadrada, cuya principal función es dotar a la grúa de altura necesaria y soporte. Generalmente está formada por módulos individuales que facilitan el transporte y montaje posterior de la grúa. Su forma y dimensión varía según las características de peso y altura, dependiendo del tipo de grúa que se pretenda utilizar.
2. **Pluma:** Es una estructura de sección, normalmente triangular, la cual brinda a la grúa el radio o alcance necesario para la manipulación de cargas. Sus dimensiones varían dependiendo de los requerimientos de alcance y capacidad.
3. **Contrapluma:** La longitud de la contrapluma oscila entre el 30% y el 35 % de la longitud de la pluma. Es el lugar en donde, posterior al montaje colocan los contrapesos.
4. **Contrapeso:** Son estructuras de hormigón prefabricado que se colocan para estabilizar el peso y la inercia que se produce en la pluma. Se debe estabilizar

la grúa tanto en reposo como en funcionamiento.

5. **Placa de fundación:** Estructura de concreto reforzado, cuyo fin es estabilizar la grúa frente al peso propio, la carga que pueda trasladar y a las condiciones ambientales adversas que afectan su operación, por ejemplo el viento.
6. **Motores:** La grúa en términos generales está formada por tres motores eléctricos:
 - *Motor de elevación:* Permite el movimiento vertical de la carga.
 - *Motor de distribución:* Da el movimiento del carro a lo largo de la pluma.
 - *Motor de orientación:* Permite a la estructura superior de la grúa dar un giro de 360°, en el plano horizontal.

Selección de la grúa torre

El costo de utilización de una grúa torre es elevado, para justificar la utilización de este recurso, se debe planificar hasta donde será aprovechado este tipo de maquinaria, de ahí que es deben tomar en cuenta una serie de factores tales como:

- Condiciones del sitio en donde se ubicará la grúa.
- Tiempo total que va a estar en uso, durante la elaboración del proyecto.
- Procesos en que se utilizará este recurso.
- Capacidad y alcance de la grúa torre.
- Costo de instalación y montaje, así como los gastos en los que se incurre por su operación.

- Capacitación del personal que manipula el equipo, operador de la grúa y los respectivos asistentes.

Ubicación de la grúa torre

A la hora de seleccionar el lugar de colocación de la grúa torre se deben tener en cuenta una serie de parámetros, relacionados de manera directa con su alcance y capacidad, ya que se debe garantizar un adecuado funcionamiento que permita el desarrollo de las diferentes actividades, de la forma más eficiente.

El papel que desempeña el diseño de sitio, para la ubicación de un elemento como lo es la grúa torre, es de muchísima importancia en la obtención de productividad, porque de esta distribución depende cuán eficiente sea el proceso constructivo que se está desarrollando puesto que permite la optimización de los recursos y permite contar con ciclos de trabajo más cortos. Son muchos los beneficios que se obtienen del buen posicionamiento de la grúa torre, pero sin duda, todos ellos se traducen en una reducción del costo de producción, que implica a su vez, un mejor aprovechamiento de los recursos económicos.

Entre las ventajas que se obtienen a la hora de colocar la grúa en un punto estratégico están las siguientes:

- Incremento de la producción.
- Disminución de los tiempos muertos.
- Utilización efectiva de todo el alcance de la grúa.
- Un mayor aprovechamiento de los recursos.

Es importante mencionar que para definir una buena colocación de la grúa torre y lograr un adecuado proceso operativo, se deben de tomar en cuenta ciertos aspectos, entre ellos están:

1. Actividades que se van a realizar para propiciar un proceso más ordenado y controlado, minimizando los tiempos de espera y aumentando la calidad.
2. La ubicación de los diferentes recursos, que intervienen en el desarrollo de las actividades.
3. El tipo de mano de obra requerida, ya que esta debe ser asignada de acuerdo con la actividad que se vaya a realizar

para tener siempre personal capacitado en el desarrollo de la misma.

Además, se debe de tener en cuenta que el recorrido que se genera a la hora de realizar una actividad específica, debe ser el más corto y práctico posible, pues esto se traduce en un menor tiempo para trasladar la carga.

Normas de Seguridad

A la hora de realizar una determinada actividad mediante el uso de la grúa torre se deben tener presente ciertas consideraciones relacionadas con la seguridad, tales como:

- Verificar la carga que será alzada y el peso de ella.
- Verificar que la carga esté bien asegurada, antes de empezar la maniobra.
- El operador de la grúa no debe comenzar la maniobra, hasta que los asistentes no se lo hayan indicado.
- Evitar el trabajo con carga suspendida sobre personal que se encuentre sobre el radio de acción de la pluma.

El operador de la grúa debe ser una persona con gran sentido de la responsabilidad y que esté perfectamente informado de las partes mecánicas y eléctricas de ella, así como las maniobras que puede realizar y las limitaciones de la máquina.

Técnicas de productividad

Para determinar la productividad en una labor o de un equipo de trabajo específico, existen diversas técnicas que pueden brindar una idea de cual es su desempeño en términos de porcentaje y, que a su vez, son prácticas para ser aplicables en sitio. A continuación se describe brevemente dos de ellas.

Crew Balance

Esta técnica consiste en dar un seguimiento continuo a cada una de las actividades que realiza un equipo de trabajo durante un periodo determinado.

Para la aplicación de esta técnica, se deben especificar las condiciones climáticas en las que se desarrolla el trabajo, así como las características del sitio y, además definir cuáles son los recursos que intervienen en la actividad que se desempeña.

Por otra parte, se deben documentar cada uno de los tiempos en los cuales inicia y finaliza una actividad determinada, anotando la duración del trabajo realizado, además de especificar el tiempo en que se hace un cambio de actividad y las observaciones pertinentes del caso. También se deben registrar las ocasiones en las que se incurre en tiempos muertos o de espera de manera que se obtenga un desglose detallado de cada uno de los movimientos que se realizaron durante la medición.

Posteriormente, se elabora un balance entre el tiempo efectivo y el tiempo improductivo, para la actividad que se analiza, de esta forma se logra obtener la productividad general.

Work Sampling

Consiste en establecer, un intervalo de tiempo el cual constituye el periodo en el que se realizan las mediciones, luego se define cada cuanto se deben realizar las observaciones de productividad, para el trabajo que se desarrolla y

para el cual se desea encontrar su desempeño. Cada una de las observaciones se clasifica en trabajo productivo o trabajo improductivo, dependiendo de cual sea el estado de la actividad cuando se realiza la observación. Por lo general, cada medición se realiza en intervalos de tiempo muy cortos, aproximadamente de uno a cinco minutos, esto depende de la variabilidad del tipo de trabajo que se este ejecutando

Al igual que la técnica anterior (crew balance), se tiene que describir las características propias del lugar en donde se realiza la medición y definir los recursos involucrados en el trabajo, con el fin de establecer parámetros, los cuales brinden una idea de los factores que influye en la determinación de la productividad.

Para cuantificar la productividad se hace un conteo de las observaciones de trabajo productivo, obtenidos durante la medición y se establece una relación con respecto del número total de observaciones. Se recomienda realizar un mínimo de 384 observaciones para obtener una muestra representativa, que garantice la validez estadística del resultado de productividad.

Desviación estándar

La desviación estándar es una medida de dispersión para variables, de gran utilidad en la estadística descriptiva, que se refiere a la desviación que representan los datos en su distribución respecto de la media aritmética de dicha distribución. La desviación estándar nos dice cuánto tienden a alejarse los valores del promedio; en términos generales es "el promedio de lejanía de los puntajes respecto del promedio".

Una desviación estándar grande indica que los puntos están lejos de la media, y una desviación pequeña indica que los datos están agrupados cerca de la media. Se calcula por medio de la siguiente ecuación.

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (X_i - \mu)^2}{N}}$$

Introducción

Actualmente, la industria de la construcción se preocupa por la constante mejoría en todos los ámbitos, desde los aspectos administrativos hasta los de ejecución.

Pero este objetivo requiere de los recursos suficientes para optimizar cada uno de los procesos involucrados en el desarrollo de un determinado proyecto y para eso es necesario tener un amplio conocimiento acerca de los aspectos más relevantes que influyen de manera directa sobre el costo y los tiempos de ejecución. Una de las formas más prácticas de controlar y planificar esos procesos, es contar con registros de información que brinden parámetros claros y favorezcan la futura toma de decisiones en el campo.

Para el caso de la construcción del proyecto EuroCenter Segunda Etapa, uno de los principales aspectos que se debe tener en cuenta es el equipo y la maquinaria. Con el presente trabajo de investigación, se pretende hacer una aproximación real referente al proceso operativo de una Grúa Torre tipo Liebherr 200 HC, para el desarrollo del proyecto EuroCenter.

El objetivo que guía este trabajo es el de establecer cuan importante resulta la utilización de la grúa torre en el rendimiento y productividad en determinadas actividades del proyecto, así mismo señalar los factores que pueden afectar tanto positiva como negativamente su desempeño.

Por otra parte, se pretende detallar el proceso operativo de la grúa torre, por medio del desglose de actividades y su peso en tiempo durante la jornada de trabajo.

También determinar cuál es el costo unitario de producción, para cada uno de los procesos analizados y elaborar un balance de costos que permita ver de qué manera se relaciona el monto presupuestado para la grúa torre, con respecto del desempeño de las actividades.

Metodología

La Práctica Profesional Dirigida se realizó en la empresa constructora EDICA Ltda. específicamente en la construcción de la segunda etapa del proyecto EuroCenter ubicado en Barreal de Heredia.

Con el fin de dar seguimiento a cada uno de los procesos involucrados en el desarrollo de la edificación, se estableció un plan de trabajo con una jornada laboral de 8:00 a.m. a 4:00 p.m., durante cuatro días a la semana, para obtener, de este modo, una descripción más clara del proceso operativo de la grúa torre y proveer datos más aproximados a la realidad.

En aras de determinar la productividad general de la grúa torre, se llevaron a cabo mediciones de campo, por medio de las técnicas Work Sampling y Crew Balance, las cuales favorecieron la obtención de un desglose detallado de las actividades en que se desempeña este equipo y el porcentaje de tiempo se pierde durante su operación.

Para el análisis de los rendimientos, se realizó un modelo de operación para las actividades involucradas, en el cual se detalla cada una de las tareas que la constituyen, así como los recursos empleados en el desarrollo de las actividades. Posteriormente se realizaron mediciones en sitio, de los tiempos y movimientos que corresponden a cada uno de los componentes del ciclo, a través de hojas de trabajo, previamente elaboradas, las cuales permiten un mayor orden a la hora de realizar la toma de datos.

En cuanto a los costos, se recopiló una serie de aspectos asociados con la operación de la grúa, como lo son: consumo eléctrico, salario del operador, mantenimiento; entre otros factores que influyen sobre el costo real de operación que se da en el Proyecto, de manera que se estableció cómo se distribuye este costo en cada una de las actividades realizadas durante la

jornada. Además de la recolección de datos relacionados con temas referentes a la grúa torre suministrados por el Ing. Javier Vega, residente del proyecto Eurocenter.

Consideraciones generales

Este apartado describe todos los aspectos, referentes al proyecto de construcción, que se tomaron en cuenta para elaborar el estudio. Además, plantea ciertas consideraciones que se emplearon a la hora de realizar las mediciones en campo.

Descripción de la obra

El proyecto en desarrollo, consiste en la construcción de 2 torres para un edificio de oficinas, con seis pisos y tres niveles de parqueos subterráneos cada una. El área de construcción abarca 30.000 m², incluyendo las dos torres y otras obras exteriores. La altura total de la edificación es de 25.7 m aproximadamente.

El sistema estructural del edificio está constituido por elementos de concreto reforzado tales como muros, columnas y vigas prefabricadas en el sitio de construcción, además de sistemas de entrepiso como losas multitubulares y viguetas pretensadas. Estas estructuras son chorreadas de manera conjunta, para que tengan un comportamiento monolítico. El concreto para chorrear los elementos estructurales es premezclado y su resistencia varía según las especificaciones para cada caso; el tipo de proyecto en desarrollo se muestra en el anexo #4.

El costo total de la obras se estima en 12.000.000 de dólares. Este edificio será destinado para uso de oficinas de alquiler cuyo dueño es el CONSORCIO EUROPEO DIURSA S.A.

Instalación de la grúa

Según las características del tipo de proyecto es necesario contar con una grúa torre que brinde el alcance y capacidad necesaria para desempeñar los diferentes procesos involucrados en la

construcción del edificio. En este caso la grúa torre se encuentra armada con una altura de 30 metros sobre el nivel de terreno y posee un alcance de 60 metros, hasta la punta de la pluma. (Ver anexo #2).

La capacidad máxima de carga es de 8 toneladas en condiciones normales según el manual del fabricante (Ver anexo #3), pero se debe tener en cuenta que para el caso analizado en este proyecto existe una carga de viento considerable por lo que la capacidad de carga se disminuye. Para este trabajo se realizó un gráfico en el cual se determina como varía la capacidad de la grúa torre con respecto a la curva de capacidad teórica (Ver anexo #5).

Se debe tener claro que el fin primordial y la razón de instalar la grúa en el proyecto, es montar las losas multitubulares para entrepiso pues debido a la magnitud de él, no es posible realizar esta actividad de otra forma.

Condiciones de clima

Todas las mediciones realizadas, tanto para la determinación de la productividad, como para los rendimientos se desarrollaron bajo las mismas condiciones climáticas.

En este caso prevaleció una condición de clima soleado pero con la presencia de fuerte viento, factores determinantes a la hora de estimar el desempeño de la grúa torre. El análisis total del proceso operativo de la grúa torre fue de cuatro meses

Mano de obra

En cada una de las actividades tomadas en cuenta para este estudio, se hace uso del recurso humano, a continuación se cita, de manera general, el tipo de mano de obra empleada:

Operario de la grúa: Es el responsable de los movimientos, que se realicen con la grúa y la manipulación más adecuada de este tipo de maquinaria.

Asistente de grúa: Es el encargado de coordinar y señalar los movimientos que se deben realizar, además, le corresponde guiar adecuadamente al operario de la grúa, en el desarrollo de las diversas actividades.

Supervisor: Coordina y dirige los distintos aspectos que intervienen en la operación de la grúa torre, según la actividad que se realice.

Mano de obra general: Se refiere al personal que incluye peones, operarios o ayudantes. Más adelante se hará referencia al tipo y cantidad de este recurso para cada una de las actividades.

Actividades realizadas por la grúa

A partir de la evaluación del proceso operativo de la grúa torre que se realizó en sitio, se concluyó que las principales actividades en las que se desempeña este tipo de equipo son:

- Montaje de vigas.
- Montaje de losas multitubulares.
- Descarga de losas.
- Montaje de paneles de formaleta.
- Desformaleteo.
- Chorrea de concreto mediante uso de balde.
- Actividades varias.

Descripción de actividades

A continuación se describe cada una de las actividades más representativas, las cuales forman parte del proceso operativo de la grúa torre. Se detallan y especifican los recursos empleados en el desarrollo de dichas actividades.

Montaje de vigas

El montaje de vigas es una actividad que consiste en trasladar estos elementos con la ayuda de la grúa torre, desde su lugar de apilamiento hasta el sitio del edificio en donde serán montadas.

Las vigas son de concreto reforzado y prefabricadas en sitio. El peso de las vigas no debe exceder la capacidad de la grúa, para que puedan ser trasladadas y manipuladas sin ningún problema, cada viga tiene una longitud promedio de 10 metros y un peso aproximado de 2.7 toneladas.

Para esta actividad se requiere de la siguiente mano de obra:

- Un Operador de la grúa.
- Tres Asistentes de grúa.
- La cuadrilla de trabajo compuesta por: Un operario y dos ayudantes.

Montaje de losa multitubular

Esta actividad corresponde a la colocación y montaje de losas en los diferentes módulos de entepiso del proyecto, cada módulo tiene un área aproximada de 121 m². Las losas de entepiso son prefabricadas y suministradas por la empresa Productos de Concreto, estas losas son de aproximadamente 10,7 metros de largo por 1,22 metros de ancho, poseen un peralte de 25 cm y pesan alrededor de 1025,7 Kg/m³

El rendimiento para esta actividad se cuantifica en metros cuadrados de losa por hora, puesto que para fines prácticos de presupuestación es más fácil hacer una relación entre las dimensiones de la losa y el área de entepiso que se desee montar.

El montaje de losas inicia con la fijación de amarras al elemento para ser trasladado. El procedimiento es el siguiente: Se colocan las amarras en ambos extremos y, una vez aseguradas, se empieza a subir la losa que será transportada hasta el lugar de su montaje. Al llegar a su respectiva ubicación, la losa es recibida por la cuadrilla de montaje quien es la encargada de la colocación correcta.

Para el montaje de las losas es necesario el uso de los siguientes recursos de Mano de obra:

- Un Operador de la grúa.
- Tres Asistentes de grúa.
- La cuadrilla de trabajo compuesta por:
Dos ayudantes.
Un Supervisor de montaje.

Descarga de losas multitubulares

Actividad que consiste en la descarga de la Losa Lex, por medio de la grúa torre en diferentes

sitios del proyecto. Estas losas deben ser descargadas de un camión cuya capacidad de transporte es aproximadamente, siete losas; cada una de ellas posee una resistencia de 320 Kg/cm². Las dimensiones son las mismas que se mencionaron en la actividad anterior.

Las losas de entrepiso, al tener un área variable dependiendo del lugar en donde se vayan a montar, requieren, para fines prácticos, expresar el rendimiento en unidades por hora, porque lo que interesa es saber cuantas losas se tienen que descargar en un determinado tiempo y no su área.

En esta actividad intervienen los siguientes recursos de Mano de obra:

- Un Operador de grúa torre.
- Dos Asistentes de grúa.

Montaje de paneles de formaleta

Descripción del proceso: La actividad consiste básicamente en el montaje de paneles metálicos de formaleta en algunos muros del proyecto, los cuales son transportados por la grúa torre. Estos paneles metálicos, miden, aproximadamente, 4.7 metros de alto por 3.3 metros de ancho y tienen un peso alrededor de una tonelada.

El rendimiento, que se determinó para esta actividad, se hizo con base en el ciclo operativo siguiente y se cuantificó en metros cuadrados por hora.

Para el desarrollo de esta actividad se hace uso de los siguientes recursos de Mano de obra:

- 1 Operador de la grúa.
- 2 asistentes de grúa.
- La cuadrilla de trabajo formada por:
Un operario.
Tres ayudantes.

Desformaleteo

El desformaleteo es una actividad en la cual se desmontan los paneles metálicos de formaleta. Para ello, los paneles deben estar desenganchados del muro, de manera previa, para agilizar el trabajo de la grúa torre; posteriormente se trasladan a un sitio de apilamiento. Al igual que para el montaje de paneles de formaleta el rendimiento para esta actividad se determinó en metros cuadrados por hora.

Esta actividad involucra los siguientes recursos humanos:

- 1 Operador de la grúa.
- 2 asistentes de grúa.
- La cuadrilla de trabajo compuesta por:
Tres ayudantes.

Chorrea de concreto mediante uso de balde

Es una actividad en donde se utiliza la grúa torre para la chorrear concreto en diferentes elementos estructurales tales como: muros, columnas, vigas, ménsulas, nudos, sobrelosas para entrepisos y otros. El balde tiene una capacidad aproximada de 0.75 metros cúbicos (m³) de concreto y el rendimiento se determinó en unidades por hora, puesto que lo que interesa saber es la cantidad de movimientos que realiza la grúa para transportar este balde, durante una chorrea.

Procedimiento general: La actividad consiste inicialmente, en el traslado del balde hacia el lugar específico, en donde éste se coloca para ser llenado. Una vez que el balde es colocado, se posiciona la chompipa en el mismo sitio y se descarga el concreto; luego se procede al transporte del balde cargado hasta el lugar en donde se necesita realizar la chorrea. Posteriormente, se coloca el balde y se empieza a descargar el concreto, al terminar la chorrea la grúa retorna para iniciar con un nuevo ciclo.

Para el desarrollo de esta actividad se cuenta con los siguientes recursos de Mano de obra:

- Un operador de la grúa.
- Dos asistentes de grúa.
- La cuadrilla de trabajo que requiere en este caso de:
Un operario
Dos ayudantes
- Un operador de chompipa.

Actividades varias

Incluye todas las actividades que realiza la grúa torre, las cuales abarcan ciclos de trabajo muy cortos; además se realizan de una forma muy simple. Debido a estas condiciones resulta poco práctico detallar cada una de estas tareas; por lo que se toman todas las actividades que se contemplan dentro de esta categoría de manera general.

No obstante se pueden mencionar las siguientes actividades:

- Transporte de materiales como acero, madera, malla electrosoldada.
- Colocación de ménsulas y cerchas.
- Traslado de equipo como compactadores, máquinas de soldar, batidoras.
- Transporte de viguetas y canasta con bloques.
- Descarga de materiales.

Para cada una de las actividades citadas no se cuantificó un rendimiento específico; sino que se tomaron de manera conjunta, debido a que son actividades poco representativas y no influyen de manera directa en el desempeño del proyecto; pues como ya se expresó no demandan mucho tiempo para ser realizadas. Dicho rendimiento se refiere al tiempo que se tarda en completar un ciclo y se da en movimientos de grúa por hora. Un movimiento es el tiempo que tarda la Grúa en mover la pluma, al realizar un determinado trabajo y completar su ciclo operativo.

La mayor parte de los recursos empleados en el desarrollo de esta actividad son de carácter humano. En términos generales se necesita:

- Un operador de la grúa.
- Dos asistentes de grúa.
- Un ayudante.

Productividad

La estimación de la productividad para la grúa torre se realizó por medio de las técnicas Crew balance y Work sampling (ya descritas). Para obtener la información necesaria, se implementaron hojas de trabajo que permitieron una mejor forma para la recolección de los datos. A continuación se detallan los aspectos tomados en cuenta para cada una de ellas.

Crew balance

Para la elaboración del balance de tiempos se le dio seguimiento a las actividades realizadas por la grúa torre, en el transcurso de la jornada preestablecida. Con esta técnica se obtuvo un periodo total de medición de 77 horas. Las hojas

de trabajo que se emplearon para tomar las mediciones de campo se muestran en el apéndice #1.

Work sampling

Para el método del Work Sampling se elaboraron mediciones de productividad realizadas cada tres minutos durante un lapso de ocho horas diarias. Los días para realizar las mediciones fueron tomados aleatoriamente y las mediciones se cuantificaron por medio de las hojas de trabajo (Ver apéndice #2). En total se obtuvieron 500 observaciones (Ver apéndice #8).

Rendimientos

Para la toma de rendimientos fue preciso contar con un desglose de las tareas, que componen cada una de las actividades analizadas de manera que se pudiera plantear un modelo de operación a partir estas tareas, esto con el objetivo de establecer cual es la mejor forma de conformar un procedimiento para la elaboración del trabajo. Posteriormente se hizo uso de las hojas de trabajo que se muestran en el apéndice #4, cada hoja corresponde a una actividad específica.

Modelos de operación

Las siguientes tareas componen el ciclo operativo para el montaje de vigas, el montaje de losas multitubulares, la descarga de losas y las actividades varias.

- Fijación de amarras: Se refiere al tiempo en el que los asistentes de grúa fijan las amarras al elemento que se va a montar o transportar; de manera que éste quede seguro para realizar el transporte correspondiente.
- Transporte del elemento: Es el tiempo que transcurre desde que se tensan los cables fijados al elemento y se empieza a trasladar; hasta que es recibido por una cuadrilla de trabajo en el lugar en donde se va a colocar.
- Colocación y montaje: Se refiere al tiempo que se invierte en el

posicionamiento y colocación o montaje del elemento, para ubicarlo en la posición correcta.

- Soltar las amarras: Esta tarea corresponde al tiempo necesario para liberar el elemento, de las amarras; una vez que se está seguro de haberlo colocado en su lugar.
- Retorno de la grúa: Se refiere al tiempo necesario para que la grúa regrese a la posición original, para iniciar con un nuevo ciclo.

Montaje de paneles de formaleta

- Fijación de amarras.
- Posicionar el panel: Se refiere al tiempo que conlleva el acomodar el panel de formaleta para la colocación de antiadherente.
- Colocación de antiadherente: Consiste en colocar el antiadherente sobre la superficie del panel para que posteriormente el concreto no se pegue.
- Transporte del elemento.
- Colocación y montaje.
- Soltar las amarras.
- Retorno de la grúa.

Desformaleteo

- Fijación de amarras.
- Desmontaje: Corresponde al tiempo que transcurre mientras el panel de formaleta se desprende del elemento estructural al cual estaba sujeto después de la chorrea.
- Transporte del panel.
- Soltar las amarras.
- Retorno de la grúa.

Chorrea de concreto mediante uso de balde.

- Ubicación del balde: Esta tarea incluye el tiempo que se tarda en colocar el balde en el lugar de llenado y, posicionar la canoa de la chompipa para descargar el concreto. El rendimiento para la actividad no incluye el tiempo que se tarda en

trasladar el balde hasta ese lugar, a la hora de iniciar con la actividad.

- Llenado del balde: Incluye únicamente el tiempo que se invierte en la descarga del concreto dentro del balde.
- Traslado del balde: Se refiere al tiempo que transcurre desde que el balde se despega del suelo y se transporta; hasta que es recibido por la cuadrilla en el sitio de chorrea.
- Descarga de concreto: Es el tiempo que le toma a la cuadrilla posicionar el balde en el lugar correcto y la descarga total del concreto.
- Retorno de la grúa: Representa el tiempo en que la grúa regresa del sitio de chorrea al lugar en donde se llena el balde.

Con base en desglose y descripción de las tareas implicadas en el proceso; se establecieron los modelos de operación, a través de los cuales se nota con claridad la relación de dependencia existente entre los diferentes componentes de cada ciclo operativo, (Ver apéndice #3).

Factores de corrección

Tomando en cuenta que los rendimientos obtenidos en el proyecto son para las condiciones específicas en que fueron tomadas las mediciones; se establecieron factores de corrección que permiten determinar un rendimiento más preciso dependiendo de las condiciones en las que se esté trabajando y se desee encontrar un nuevo rendimiento.

Estos factores fueron estimados a partir de un análisis de productividad, elaborado para las actividades a las que se le aplicaron los rendimientos y dependen de factores como:

Alcance de la pluma: El alcance máximo es de 60 metros, pero se planteó un rango de acción de 50 metros; puesto que la distancia mínima de montaje determinada en sitio fue de diez metros. El rendimiento disminuye si la actividad que se realiza debe hacerse en un lugar alejado y se desplace el trabajo de la grúa hasta el final de la pluma.

Altura de montaje: Depende de la altura a la que se encuentre instalada la grúa torre, para este caso la altura máxima de traslado y montaje para

los todos los elementos es de 30 metros. Cuánto más alto se trabaje, el rendimiento será menor.

Radio de giro: Para este caso se debe tener en cuenta que las mediciones se realizaron a partir del rango de acción de la grúa, el cual corresponde a 240 grados, su capacidad de giro es de 360 grados. El rendimiento aumenta entre más pequeño sea el ángulo de giro.

Los rendimientos y factores determinados en el presente estudio pueden ser aplicados en proyectos que posean características similares a las descritas para este caso.

Estimación de costos

Para la estimación de costos de cada actividad realizada por la grúa torre, se partió del monto que se tenía previsto invertir en el proyecto para la operación de dicho equipo. El monto total presupuestado es de ¢95.777.000 para una duración de diez meses. En promedio, la jornada de trabajo establecida para fines del estudio es de doce horas por día. Se adjunta una tabla (apéndice #6) en la cual se detalla cada uno de los aspectos tomados en cuenta y donde se especifica el costo de cada uno de los elementos que intervienen en el costo de operación de la grúa torre.

Para establecer el monto correspondiente a cada una de las actividades realizadas por la grúa torre, se utilizaron los porcentajes de tiempo invertidos por la grúa para esas actividades. Estos porcentajes fueron determinados mediante la técnica Crew balance. A la hora de elaborar el desglose de costos, se estimó un rendimiento mínimo para cada actividad, que corresponde al rendimiento necesario para cubrir el costo de operación y obtener un desempeño positivo de la grúa en la realización de las actividades.

Comparación de costos de operación

De manera comparativa, algunas de las actividades analizadas en este trabajo, se podrían realizar sin hacer uso de la grúa torre. Tal es el caso de la chorrea de concreto, el montaje de paneles de formaleta y el desformaletado.

La chorrea de concreto se podría realizar mediante el uso de una bomba telescópica, que

permita brindar el alcance necesario para llegar hasta el elemento que se quiera chorrear. El sistema de bombeo se cobra por metro cúbico colocado, el costo para su uso es de ¢9360/ m³ y se cobra un mínimo de 8 m³. El rendimiento para esta actividad, haciendo uso de la bomba telescópica es de 10 m³/h. Formaletar los muros puede llevarse a cavo utilizando mano de obra para montar los paneles modulares pequeños de formaleta.

El rendimiento para la colocación de formaleta es de 3.4 m²/h, haciendo uso de dos operarios cuyo costo horario es de 1300 colones por hora. Para el desformaletado se toma un rendimiento de 6.8 m²/h y con el mismo costo.

Resultados

A partir de las diferentes mediciones realizadas, se obtuvo en promedio una productividad general para el ciclo operativo de la grúa torre de un **83.87 %**. Además, se determinó que el tiempo muerto o porcentaje de improductividad de este equipo es del **16.13 %**.

Mediante la aplicación de las técnicas Work sampling y Crew balance se obtuvieron los siguientes resultados.

CUADRO 1. RESULTADOS DE PRODUCTIVIDAD		
Técnica Utilizada	Productividad	Tiempo Muerto
Crew Balance	88.52 %	11.48 %
Work Sampling	79.22 %	20.78 %

El detalle de los resultados de las mediciones diarias con base en la aplicación de ambas técnicas, se describe en el apéndice #7 y el apéndice #8. Ahí se registra el comportamiento de la grúa torre, en términos de productividad y así mismo la asignación de tareas por jornada.

Por medio de la técnica Crew Balance se logró elaborar un desglose porcentual del tiempo que se designa a cada una de las actividades involucradas en este estudio. En el apéndice #7 se puede apreciar de una forma más específica el desglose de tiempos asignados a cada actividad, durante el periodo de medición.

A continuación se muestran los resultados obtenidos:

CUADRO 2. DESGLOSE DE LA JORNADA	
Actividad	Tiempo designado
Montaje de Vigas Prefabricadas	10,34%
Montaje de Losas de Entrepiso	11,07%
Chorrea de Concreto Mediante uso de Balde	23,13%
Descarga de Losas de Entrepiso	5,44%
Montaje de Paneles de Formaleta	5,95%
Desformaletado	4,78%
Actividades Varias	27,80%
Tiempo Muerto	11,48%
Total	100 %

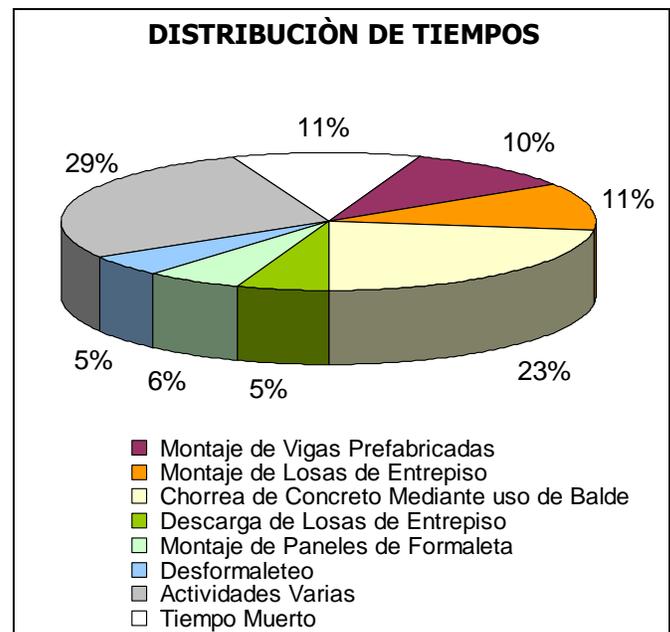


Figura 1. En este grafico se muestra la distribución de tiempo que designa la grúa torre a cada actividad, por jornada.

En lo que a rendimientos se refiere, se logró cuantificar una producción horaria general. En el siguiente cuadro se muestran, de manera específica, los rendimientos y productividades

para cada una de las actividades que representan un mayor peso en el desarrollo del proyecto.

CUADRO 3. DATOS DE RENDIMIENTOS Y PRODUCTIVIDAD			
Actividad Realizada	Rendimiento General	Unidad	Productividad
Montaje de Vigas Prefabricadas	3,81	U/h	86,40%
Montaje de Losas de Entrepiso	76,93	m2/h	82,33%
Chorrea de Concreto Mediante uso de Balde	11,92	B/h	81,90%
Descarga de Losas de Entrepiso	12,27	U/h	83,23%
Montaje de Paneles de Formaleta	60,97	m2/h	87,36%
Desformaleteo	112,77	m2/h	90,72%
Actividades Varias	10,01	mov/h	

En el apéndice #9 se presenta el detalle de las mediciones realizadas y la distribución de tiempos correspondientes a cada una de las tareas comprendidas en los modelos de operación para cada una de las actividades que se analizaron en la determinación de estos rendimientos.

A partir de las productividades determinadas en sitio, para las condiciones en que se desempeña la grúa torre, se establecieron los siguientes resultados (Ver cuadro 4), los cuales son necesarios en la determinación de los factores de corrección para los rendimientos. Estos serán mostrados más adelante.

CUADRO 4. PRODUCTIVIDADES LÍMITES		
Actividad	Productividad	
	Mayor	Menor
Montaje de Vigas Prefabricadas	93.33%	75.00%
Montaje de Losas de Entrepiso	95.14%	63.86%
Chorrea de Concreto Mediante uso de Balde	88.29%	63.83%
Descarga de Losas de Entrepiso	95.93%	71.30%
Montaje de Paneles de Formaleta	93.17%	77.05%
Desformaleteo	95.57%	81.46%
Promedio	93.57%	72.08%

Con la utilización del cuadro anterior se realizaron los cálculos necesarios para determinar los diferentes factores de corrección para los rendimientos, que se mostrarán en los siguientes cuadros.

CUADRO 5. FACTORES POR ALCANCE DE LA GRÚA

Alcance (m)	Productividad	Factor
10	93.57%	1.116
12	92.71%	1.105
14	91.85%	1.095
16	90.99%	1.085
18	90.13%	1.075
20	89.27%	1.064
22	88.41%	1.054
24	87.55%	1.044
26	86.69%	1.034
28	85.83%	1.023
30	84.97%	1.013
32	83.87%	1.000
34	83.25%	0.993
36	82.39%	0.982
38	81.53%	0.972
40	80.67%	0.962
42	79.81%	0.952
44	78.96%	0.941
46	78.10%	0.931
48	77.24%	0.921
50	76.38%	0.911
52	75.52%	0.900
54	74.66%	0.890
56	73.80%	0.880
58	72.94%	0.870
60	72.08%	0.859

CUADRO 6. FACTORES POR ALTURA DE MONTAJE		
Altura (m)	Productividad	Factor
1	93.57%	1.080
3	92.18%	1.064
5	90.80%	1.048
7	89.41%	1.032
9	88.03%	1.016
11	86.64%	1.000
13	85.26%	0.984
15	83.87%	0.968
17	82.19%	0.949
19	80.50%	0.929
21	78.82%	0.910
23	77.13%	0.890
25	75.45%	0.871
27	73.77%	0.851
29	72.08%	0.832

CUADRO 7. FACTORES POR GIRO DE LA GRÚA		
Grados	Productividad	Factor
0	93.57%	1.116
20	91.95%	1.096
40	90.34%	1.077
60	88.72%	1.058
80	87.10%	1.039
100	85.49%	1.019
120	83.87%	1.000
140	81.91%	0.977
160	79.94%	0.953
180	77.98%	0.930
200	76.01%	0.906
220	74.05%	0.883
240	72.08%	0.859

Haciendo uso de los diferentes parámetros, considerados para el análisis del ciclo operativo de la grúa torre; se planteó un desglose de costos para las actividades en las que se utiliza dicho equipo.

Para obtener los datos, que se muestran a continuación, se partió del costo total que se tiene previsto para la operación de la grúa torre.

Los detalles de este monto se muestran con más detenimiento en el apéndice #6. El siguiente cuadro muestra cómo se distribuye el costo total de la jornada en cada actividad, jornada que corresponde a un día laboral de 12 horas.

CUADRO 8. DESGLOSE DE COSTOS POR ACTIVIDAD				
Actividad Realizada	Costo por Jornada	Costo Unitario	Rendimiento Mínimo	Unidad
Montaje de Vigas Prefabricadas	¢45.036	¢11.825	3,07	U/h
Montaje de Losas de Entrepiso	¢48.206	¢627	57,89	m ² /h
Chorrea de Concreto Mediante uso de Balde	¢100.702	¢8.451	4,29	B/h
Descarga de Losas de Entrepiso	¢23.684	¢1.931	18,79	U/h
Montaje de Paneles de Formaleta	¢25.921	¢425	85,33	m ² /h
Desformaleteo	¢20.793	¢184	196,76	m ² /h
Actividades Varias	¢121.029	¢12.091	3,00	mov/h
Tiempo Muerto	¢49.978	¢745		
TOTAL	¢435.350	¢36.279		

En el apéndice #12 se muestra una tabla resumen para todos los resultados obtenidos con la elaboración de este proyecto.

Con base en las consideraciones que se tomaron en cuenta para el proyecto, y los resultados para las actividades realizadas por la

grúa torre, se elaboró el siguiente cuadro, este muestra datos comparativos de costo y rendimiento para las tres actividades que se tomaron como base para el análisis.

CUADRO 9. COMPARACIÓN DE COSTOS				
Actividad	Forma de ejecución	Rendimiento	Unidad	Costo Unitario
Montaje de formaleta	Con grúa	60.97	m ² /h	¢425
	Manual	3.40	m ² /h	¢765
Desformaleteo	Con grúa	112.77	m ² /h	¢184
	Manual	6.80	m ² /h	¢382
Chorrea de concreto	Con grúa	8.94	m ³ /h	¢11,268
	Con Bomba	10.00	m ³ /h	¢9,360

Respaldo estadístico de los resultados

Es importante mencionar que para verificar que los resultados son confiables se estimó la desviación estándar para cada una de las actividades analizadas, esto con el fin de ver que tan alejados se encuentran los resultados anteriores con respecto a su valor promedio de productividad.

CUADRO 10. DESVIACION ESTANDAR PARA LAS ACTIVIDADES	
Actividad	Desviación estándar
Montaje de Vigas Prefabricadas	0,056
Montaje de Losas de Entrepiso	0,080
Chorrea de Concreto Mediante uso de Balde	0,074
Descarga de Losas de Entrepiso	0,062
Montaje de Paneles de Formaleta	0,048
Desformaletado	0,048

Además se comprobó que 81.25 % de todas las mediciones tomadas para el cálculo de los rendimientos se encuentra con una productividad superior al 80%

Análisis de los resultados

Productividad

Las tablas de resultados, producto del presente estudio, permiten verificar el comportamiento de los valores de productividad para el desempeño de la grúa torre. La productividad encontrada se refiere directamente al trabajo realizado por la grúa, asociada a su respectivo operador; dejando de lado la productividad con la que se desempeñan las cuadrillas de trabajo y los asistentes de grúa. Esta productividad incluye el desempeño de este equipo en todas las actividades que realiza, durante la jornada de trabajo.

En este caso, se puede comprobar que la mayoría de resultados obtenidos en el análisis de las actividades, brindan una productividad superior al 80%, hecho que evidencia un alto desempeño de la grúa torre. En particular, la productividad general fue de un 83.87 %, que se refiere al promedio de las productividades encontradas a partir de las técnicas Work sampling y Crew balance. En el gráfico que se presenta en el apéndice #10 se puede constatar el comportamiento de los datos de productividad, los cuales poseen una variación similar a través de las diferentes mediciones realizadas; esto quiere decir que el ciclo operativo para la grúa torre se mantiene constante durante el desarrollo del proyecto; además, cuenta con una desviación estándar para los datos de productividad muy pequeña, lo que quiere decir que los resultados son confiables puesto que dicha desviación tiende a cero.

A pesar de que se encontró una alta productividad; un porcentaje considerable del tiempo invertido en el desarrollo de las actividades es trabajo no productivo, el cual corresponde a un 16.13 %. La mayor parte de improductividad se debe a factores ajenos a la operación de la grúa torre, algunos de ellos se mencionan a continuación:

- Existe una mala coordinación a la hora de decidir cuál es la actividad que se va a realizar. Además se pierde el control en la programación de las actividades.
- Tiempos de espera muy largos entre las actividades, ya que no se cuenta con la disponibilidad de recursos o no se tienen preparadas las condiciones necesarias para desarrollar dichas actividades, tanto en materia de equipo y materiales, como de la mano de obra.
- Uso de mano de obra no calificada en la ejecución de trabajos específicos; esto provoca que los trabajadores deban esperar las instrucciones pertinentes para la elaboración de cada tarea.
- En algunos casos el trabajo debe ser realizado varias veces; ya sea por mala organización o por falta de supervisión.
- El operario de grúa se distrae cuando la actividad se tarda y, posteriormente no está atento cuando se necesita que entre en operación de nuevo.
- Traslado de los asistentes de un lugar a otro, cuando se realizan actividades en diferentes sitios; además de distancias de recorrido muy largas para la grúa torre en el traslado de material y equipo.

Estos aspectos de improductividad se pueden apreciar de una forma más gráfica, en el diagrama causa efecto que se muestra en el apéndice #11.

Para los resultados de productividad obtenidos mediante las técnicas Work sampling y Crew balance, se tiene una diferencia porcentual del 9.3 %; debido a que la productividad para el método Crew balance se realiza de manera continua durante el transcurso de la jornada, en tanto que para el Work sampling se calcula de una manera más puntual realizando mediciones cada 3 min, lo cual hace que se obtenga un valor

de productividad más bajo; por ende, puede decirse que la productividad determinada por esta técnica es más representativa.

Desglose de actividades

Como se mencionó en el apartado de resultados, en el cuadro 2 y la figura #1, la actividad que constituye el mayor porcentaje de tiempo designado para la operación de la grúa torre es la *chorrea de concreto por medio del uso de balde*, ya que representa un 23,13% del total de tiempo invertido por la grúa, durante la jornada. Esto quiere decir que es de suma importancia mantener un control estricto sobre la productividad de esta tarea, ya que al tener un alto porcentaje de tiempo dedicado se incurre en mayores tiempos de espera y desaprovechamiento de los recursos que ocasionan pérdidas económicas. Es por eso que se debe contar con los elementos necesarios, que brinden la optimización de este proceso para que el tiempo invertido en esta actividad sea aprovechado de la mejor manera.

Actividades de interés, tales como *montaje de losas de entrepiso y montaje de vigas prefabricadas* no representan mayor demanda de tiempo para la grúa torre, este es de un 10,34% y un 11,07%, respectivamente; puesto que son actividades que no se realizan de manera continua y que dependen de cómo se vaya avanzando con el proyecto; estas se realizan con poca frecuencia.

Otro de los aspectos, que se deben tener en cuenta en la operación de la grúa torre, son las actividades varias; a pesar de que no se consideran como una actividad específica, este ítem representa el 27,80% del tiempo por jornada. Quiere decir que una gran parte de la operación de la grúa se invierte en realizar tareas que no constituyen ningún valor agregado al proyecto, tales como traslado de equipo como compactadores, máquinas de soldar, batidoras, materiales; entre otras. Además se debe tener claro que se pierde mucho tiempo cuando la grúa se dedica a muchas actividades y no se enfoca en una específica.

Rendimientos

Las actividades, a las cuales se les aplicaron la toma de rendimientos, comprenden alrededor de

un 60,52% del tiempo de trabajo que invierte la grúa por jornada, dejando de lado el rendimiento para las actividades varias.

A pesar de que no se cuenta con historiales de proyectos anteriores, referentes a rendimientos para grúa torre, que permitan establecer una comparación con los resultados obtenidos en este trabajo, el rendimiento que se determinó para cada una de las actividades se considera, en términos generales, confiable ya que la productividad asociada a cada una de ellas está por encima del 80%.

Los rendimientos que se obtuvieron en el presente estudio y que se muestran en el cuadro 3, están relacionados con una productividad específica por lo que en otras condiciones de operación, la grúa podría aumentar o disminuir el rendimiento. Para ello se consideraron los factores de corrección los cuales varían según los movimientos que debe realizar la grúa para transportar una carga determinada.

Con la aplicación de estos factores se logra aumentar el rendimiento de las actividades en un 38,9%, si se consideran las condiciones más favorables en la manipulación de la carga y tomando en cuenta las tres variables que afectan la productividad. Por otra parte, si se calcula un rendimiento para las condiciones más críticas, este se reduce en un 36.5%. Estos factores se muestran en los cuadros 5, 6 y 7.

Se debe tener muy en cuenta que el desempeño de la grúa depende enormemente de qué tan capacitado sea su operador; ya que se requiere de una gran habilidad de maniobra y movilización de la pluma, para obtener un alto rendimiento que proporcione una producción de acuerdo con los requerimientos del proyecto, por ejemplo los tiempos de ejecución; puesto que se si poseen altos rendimientos se aseguraría el plazo de entrega.

Costos

Para el análisis de los costos se tiene una distribución elaborada a partir del tiempo que se destina a cada actividad, durante la jornada. La actividad que posee un mayor costo de operación, durante este periodo, es la *chorrea de concreto*, pues significa un monto total de \$100.702 por día. Este costo, comparándose con el correspondiente a las otras actividades, es muy elevado, pero se debe tener en cuenta el aporte que genera esta actividad al proyecto.

Si se analizan los costos unitarios, se tiene que las tareas que representan un alto costo son el *montaje de vigas prefabricadas* y las *actividades varias*, puesto que cuentan con una relación muy alta entre el costo por jornada y su respectivo rendimiento, hecho que obliga a incrementar el capital que se debe invertir en cada unidad producida. De lo anterior se desprende que resulta poco rentable tener la grúa dedicando el tiempo a las *actividades varias* en conjunto con otras tareas, ya que su costo unitario es muy elevado. Sin embargo, si se pusiera a trabajar la grúa torre únicamente en las *actividades varias* se lograría alcanzar un mejor desempeño, puesto que teóricamente el rendimiento mínimo para lograr pagar el costo de operación de la grúa por jornada es de 3 mov/h mientras que el rendimiento en sitio es de 10 mov/h, prácticamente tres veces más.

Lo mismo sucede con el montaje de losas, montaje de vigas y chorrea de concreto, actividades en las cuales el rendimiento que se calcula a través de las diferentes mediciones se encuentra por encima del rendimiento mínimo necesario para cubrir los costos de operación de la grúa torre si esta se dedicara a una sola actividad específica. Por otra parte, la producción que se tiene en el proyecto para las actividades como *desformateo*, *montaje de paneles de formaleta* y *la descarga de losas* no es suficiente para lograr que el rendimiento sea positivo, esto quiere decir que su rendimiento actual no sobrepasa el mínimo, por lo que no se considera rentable invertir el tiempo de la grúa en el desarrollo de estas actividades en forma individual.

A pesar de que durante la jornada de trabajo, la grúa torre pasa improductiva sólo un 11.48%, del monto total se pierde semanalmente \$274.879. Por lo tanto, si se cuantifica el costo total que se refiere a improductividad durante los 10 meses que opera la grúa torre en el proyecto, se tiene una pérdida de \$10.995.175. Esto significa que se deben analizar de una mejor manera los recursos que se asignan a cada una de las actividades para detectar y tratar de reducir las causas que producen los tiempos de espera, de tal manera que se puedan realizar las actividades en un menor tiempo y, así disminuir la improductividad del equipo. En el apéndice #12 se presentan las tablas resumen de los resultados que se tomaron en cuenta para el análisis anterior.

Propuesta para comparación de costos

Tomando en cuenta los resultados del cuadro 8, se puede realizar una evaluación del costo unitario para cada una de las actividades que se pretende comparar, involucrando los rendimientos propuestos y los datos para la grúa torre, estimados en el presente estudio. En el cuadro 8 se presentan los resultados del costo de operación para la elaboración de las actividades que se analizaron por medio de las diferentes alternativas.

A partir de esta comparación se puede establecer que resulta conveniente hacer uso de la grúa torre para el *montaje de paneles de formaleta* y *para el desformateo*; puesto que el costo unitario es mucho más bajo que el costo que se obtiene realizando la actividad manualmente, siempre y cuando, se maneje una buena productividad que brinde un rendimiento suficientemente mayor que el que se podría obtener por medio de la mano de obra. Para este caso se cuenta con un rendimiento aproximadamente 17 veces mayor, si se utiliza la grúa torre, en lugar del que produce una cuadrilla, hecho que se traduce en un mayor volumen de trabajo realizado en menos tiempo.

Para la *chorrea de concreto*, en términos generales; resulta más económico hacer uso de la bomba telescópica debido a que el costo unitario por metro cúbico de concreto colocado, es más bajo que el de la misma actividad al utilizar la grúa, esto se debe a que el rendimiento que proporciona este sistema de bombeo es mayor que el que se genera a través de la grúa torre. Sin embargo, hay que tomar en cuenta una serie de aspectos relacionados con el desempeño que puede brindar la grúa torre; pues, según sean las condiciones del sitio en donde se va a realizar la chorrea resulta incómodo posicionar un sistema de bombeo. Además, se debe considerar cuál es el alcance máximo de este tipo de equipo; porque no siempre se va a contar con una distancia o altura de colado en la que sea posible emplear la bomba telescópica para realizar la actividad; mientras que para una grúa torre es más simple descargar el concreto en un lugar específico a mayores distancias.

Recomendaciones

Mantener los niveles de producción y calidad actuales en el proceso constructivo, pero brindando un mayor seguimiento e implementado un estricto control en la coordinación y planeamiento del desarrollo de las actividades; para evaluar, de forma continúa el desempeño de la grúa torre en los diversos procesos involucrados en el proyecto.

Realizar una buena distribución del sitio y establecer la ubicación más adecuada, tanto de la grúa torre como de los materiales necesarios para desempeñar una determinada actividad, de tal manera que se logre la optimización de los procesos constructivos.

Disponer de estimaciones precisas de rendimientos y productividad; además de buenas técnicas de programación que se complementen con la capacidad y desempeño de la grúa torre para obtener el mayor aprovechamiento de este equipo.

Disponer de la mano de obra necesaria para agilizar el desarrollo de una actividad específica; estableciendo las funciones principales que deben ser desempeñadas por cada uno de los trabajadores; así se aprovecha mejor el uso de la grúa y se reducen los tiempos muertos.

Se deben organizar las cuadrillas para preparar la actividad, de tal forma que se cuente con los recursos necesarios antes de hacer uso de la grúa y coordinar mejor la actividad que se vaya a realizar para reducir al máximo los tiempos de espera producidos por la mala planificación. Además se debe contar con una supervisión constante para controlar más el ritmo de trabajo y rendimiento, tanto de la grúa torre como de las cuadrillas de trabajo.

Incentivar a los trabajadores, ya sea por su rendimiento o bien por el logro de objetivos, de esta forma se fomenta en ellos la importancia que adquiere el realizar las labores de la mejor manera, subrayando el valor que su trabajo aporta en pro de obtener una alta productividad,

que no solo depende de un equipo determinado; sino también del uso, en particular, de la grúa torre.

Para lograr evadir las condiciones adversas, las cuales generan improductividad en el sitio, se debe realizar un adecuado estudio de los factores que influyen directamente en el proceso constructivo, con el fin de organizar todos los recursos de una manera óptima como por ejemplo: Tomar en cuenta situaciones similares de otros proyectos y llevar un control sobre los rendimientos tanto de mano de obra, como de materiales, en este caso para las actividades realizadas por la grúa torre.

Conclusiones

Habiendo realizado este proyecto, y con base en los resultados obtenidos; se presentan las siguientes conclusiones:

El hecho de contar con procedimientos para realizar mediciones, que muestren el comportamiento real de los diferentes procesos que conforman las actividades desarrolladas por la grúa torre y, observar el desempeño en conjunto con la mano de obra; permiten prever las posibles debilidades y fallas, cuando se realiza una actividad, para favorecer la retroalimentación y mejora continua de los procesos constructivos.

Para la ejecución de un proyecto es recomendable administrar y organizar la mano de obra por cuadrillas de trabajo; con el fin de especializar y capacitar a cada una de ellas para un adecuado desempeño de sus labores, de esta manera se garantiza un mejor manejo de los recursos que intervienen en el ciclo operativo de la grúa torre.

Es importante, considerar las necesidades del personal y proporcionar el ambiente, los medios y equipo idóneos para su correcto desempeño, así como una buena planificación de los procesos constructivos para obtener un uso eficiente de la grúa torre.

La coordinación y la buena comunicación entre el operador de grúa, los asistentes y las diferentes cuadrillas de trabajo influyen de manera directa sobre los rendimientos y la productividad, que se genera en el desarrollo de las actividades.

Establecer aspectos relacionados con la productividad y rendimientos para la grúa torre, constituye una herramienta fundamental para la formación de criterios que permitan establecer cuál es la manera más eficiente de desarrollar los diferentes procesos constructivos y poder evaluar la ejecución de un proyecto determinado.

El uso correcto y eficiente de una grúa torre implica un adecuado uso de recursos y la

obtención de beneficios tales como la optimización del ciclo operativo y el debido mejoramiento de los procesos constructivos, hecho que se traduce en ganancias tanto en el aspecto económico como en el tiempo de ejecución para un proyecto determinado.

Apéndices

Apéndice #1: Hoja de trabajo para la determinación de la productividad por medio de la técnica Crew Balance.

Apéndice #2: Hojas de trabajo para la determinación de la productividad por medio de la técnica Work Sampling.

Apéndice #3: Modelos de operación para cada actividad realizada por la grúa torre.

Apéndice #4: Hojas de trabajo utilizadas para la toma de rendimientos en sitio.

Apéndice #5: Grafico de comparación de la curva de capacidad teórica y la curva afectada por la carga de viento.

Apéndice #6: Tabla de costos relacionados con la operación de la grúa torre.

Apéndice #7: Mediciones realizadas mediante la técnica Crew Balance, balance de tempos para la grúa torre.

Apéndice #8: Mediciones realizadas mediante la técnica Work Sampling para la determinación de productividad.

Apéndice #9: Aspectos generales relacionados con rendimientos y distribución de tiempos para el ciclo operativo de cada actividad.

Apéndice #10: Grafico que muestra el comportamiento de la productividad durante las diferentes mediciones.

Apéndice #11: Grafico que muestra el comportamiento de la productividad durante las diferentes mediciones.

Apéndice #12: Tablas resumen de productividad, rendimientos y costos para la grúa torre.

Anexos

Anexo #1: Elevación típica de la grúa torre.

Anexo #2: Diagrama de la ubicación de la grúa torre en el sitio de construcción.

Anexo #3: Curva de capacidad para la grúa torre según el catalogo de Liebherr.

Anexo #4: Proyecto de construcción en desarrollo (Fotografías).

Referencias

Eduardo Paniagua Madrigal, Giannina Ortiz Quesada. 2005. **COSTOS DE CONSTRUCCIÓN**, Editorial Tecnológica de Costa Rica.

James J. Adrian, 1995, **TOTAL PRODUCTIVITY AND QUALITY MANAGEMENT FOR CONSTRUCTION**, Stipes Publishing L.L.C.

Javier Vega Arias. Tomado en febrero del 2007, **GRÚA TORRE**, <http://www.monografias.com/trabajos32/grua-torre/grua-torre.shtml>.

Jorge Acuña Acuña, 2004, **MEJORAMIENTO DE LA CALIDAD**, Editorial Tecnológica de Costa Rica.

Juan J. Bellmunt Bellmunt. Tomado en enero del 2007. **GRÚA TORRE**, http://www.mtas.es/insht/ntp/ntp_125.htm.