

MEDICIÓN Y ANÁLISIS DE PRODUCTIVIDAD DE TRES ACTIVIDADES EN LA CONSTRUCCIÓN DE UN CENTRO DE DISTRIBUCIÓN DE 54000m².



Abstract

The topic to be developed consists on the measurement and analysis of the productivity and the performance in the building area.

Its principal objective was the determination of the main factors that affect the productivity and the estimation of the performance generated by the workers when put masonry blocks, foundation isolated plates and retaining walls. These activities are very important in the budged rubric of a building work, due to the fact that they are repetitive activities through the execution process of a work.

For the determination of the performance in the different activities was necessary the compilation of land information related to the amount of people used in the workers crew to develop the activity, the amount of done work expressed as physical work advance and the time required to make the work observation.

Regarding the productivity, the Process Analysis Method was used, which was implemented by the enterprise as result of an external consulting made by the Universidad Católica de Chile, in which the levels of productivity in the tested activities were determinate and the same were compared with theorist data that represents the ideal in the building industry.

As result in this project, it was determinate the little reliability performance theorist data, used in the current budged of the works and the importance of making constant land measurements to update the present data bases in the performance area.

On the other hand, the difficulty that face the current building companies to get the appropriate productivity levels and the effective and efficient execution of building processes were confirmed.

Clue words

Performance.
Productivity.
Process Analysis.

Resumen

El tema a desarrollar consistió en la medición y el análisis de la productividad y los rendimientos en el sector constructivo.

El principal objetivo fue la determinación de los principales factores que afectan la productividad y el cálculo de los rendimientos generados por las cuadrillas en las actividades de pega de bloques de mampostería, placas aisladas de fundación y muro de retención. Estas tareas tienen un peso muy importante dentro de los rubros del presupuesto de una obra civil, pues son actividades repetitivas a través del proceso de ejecución de una obra.

Para la determinación de los rendimientos en las distintas actividades fue necesaria la recopilación de información de campo relativo a la cantidad de personas utilizadas en las cuadrillas, el total de trabajo realizado expresado como avance físico de obra y el tiempo requerido para llevar a cabo la labor observada.

Con respecto a la productividad, se aplicó el método de Análisis de Proceso, implementado por la empresa a raíz de una consultoría externa ejecutada por la Universidad Católica de Chile, en el cual se determinan los niveles de producción de las actividades muestreadas y los mismos son comparados con datos teóricas que representan el ideal en la industria de la construcción.

Como resultado del estudio de este proyecto, se determinó la poca confiabilidad de los datos teóricos de rendimientos utilizados en los presupuestos actuales de las obras y por ende la importancia de realizar constantes mediciones en campo para actualizar las bases de datos en materia de rendimientos.

Por otra parte, se comprobó la dificultad que enfrentan las empresas constructoras actuales para alcanzar los niveles óptimos de productividad y por ende ejecutar los procesos constructivos de una manera eficaz y eficiente.

Palabras Clave

Rendimiento.
Productividad. Análisis de Proceso.

**MEDICIÓN Y ANÁLISIS DE
PRODUCTIVIDAD DE TRES
ACTIVIDADES EN LA
CONSTRUCCIÓN DE UN
CENTRO DE DISTRIBUCIÓN DE
54000m².**

MEDICIÓN Y ANÁLISIS DE PRODUCTIVIDAD DE TRES ACTIVIDADES EN LA CONSTRUCCIÓN DE UN CENTRO DE DISTRIBUCIÓN DE 54000m².

JOSE JOAQUÍN MORA VALVERDE 200830751

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

Noviembre del 2012

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA
ESCUELA DE INGENIERÍA EN CONSTRUCCIÓN

Contenido

Prefacio	1
Resumen ejecutivo.....	2
Introducción.....	4
Marco teórico	6
Metodología	11
Resultados	22
Análisis de los resultados	41
Conclusiones y recomendaciones	50
Apéndices	52
Anexos	53
Referencias	54

Prefacio

En la actualidad, la industria de la construcción, debido a la necesidad de optimizar recursos y hacer más eficientes los procesos, muestra un gran interés por mejorar en todos sus campos, desde el diseño hasta la fase de construcción junto con la administración de la obra.

Por ello, para lograr este objetivo es necesario conocer todas las características de los recursos que intervienen, para optimizar cada proceso implicado en el desarrollo de un determinado proyecto. Para esto se requiere tener conocimientos de los aspectos principales que influyen de manera directa sobre el costo y los tiempos de ejecución.

Una de las formas para controlar estos procesos es mediante el registro de información que brinde indicadores claros para usar de la mejor manera todos los recursos ya sean humanos, materiales o de equipo.

Por lo tanto, se pretende determinar en este proyecto la eficiencia y efectividad de los procesos realizados, constituir bases confiables con información de rendimientos que permitan 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.

El principal objetivo del proyecto, fue recatar información actualizada sobre la producción real de distintas actividades que ejecuta la constructora Volio y Trejos Asociados S.A, así como detectar los factores que afectan la realización de las mismas y poder así, tomar medidas correctivas para una optimización de los proyectos.

Deseo agradecer la invaluable colaboración que me brindó la empresa Constructora Volio y Trejos Asociados S.A., principalmente al Ingeniero Carlos Sáenz y al equipo de construcción.

También a mi profesora guía, Ingeniera. Ana Grettel Leandro ya que sin su ayuda hubiera sido muy difícil salir adelante y en especial a mis padres y hermano, puesto que sin su apoyo incondicional en toda mi carrera universitaria, nada de esto hubiera sido posible.

Resumen ejecutivo

La industria de la construcción posee un papel muy importante dentro del desarrollo económico de un país ya que la presencia de proyectos constructivos son indicadores del progreso que vive una región. Sin embargo, de manera paradójica, esta industria es la que presenta el menor desarrollo en la mayoría de países latinoamericanos y por ende en Costa Rica, mostrando índices de menor productividad con respecto a los demás sectores económicos.

Esta baja de productividad se debe, principalmente, a las características tan distintas y particulares que se encuentran dentro de cada proyecto constructivo, al poco aprovechamiento del desarrollo tecnológico actual para resolver los problemas comunes del día a día de una manera eficiente y eficaz, y a la gran cantidad de eventos inciertos que se presentan diariamente en el desarrollo de una obra de construcción, dentro de los que destacan: la variabilidad del clima, los rendimientos que dependen del factor humano cuyo comportamiento no es totalmente predecible y a los constantes cambios que surgen en el desarrollo de una obra civil. Todo esto repercute negativamente en los participantes de un proyecto, llámese propietarios, consultores y constructores en cuanto a plazo de entrega, calidad de la obra y costo final.

¹A pesar de los aspectos negativos, este es un sector próspero, que presenta grandes oportunidades de desarrollo y mejora, por lo que el cambio y mejoramiento de los procesos, tanto administrativos como de construcción, son una necesidad importante debido a los desafíos que existen actualmente, como lo son: mercados muy competitivos, proyectos civiles con complejidades muy altas, exigencia de menores plazos, gran presión en busca de reducción de costos en la ejecución de los proyectos y por último, el aumento en el impacto de la mano de obra, junto con la reducción de oferta en el mercado laboral frente a una demanda en aumento.

¹ Serpell, A. (2002). Administración de operaciones de construcción (2ª ed.). México: Alfaomega.

Es por esto, que el principal objetivo de este trabajo es determinar los rendimientos y productividades de la empresa con respecto a actividades tan comunes como lo son la pega de bloques de mampostería, la construcción de placas aisladas de fundación, pedestales y muros de retención, los cuales representan rubros fundamentales en el desarrollo de presupuestos para proyectos a nivel nacional, por lo que es de sumo interés para la empresa conocer con detalle el modo de operación que tienen actualmente estas actividades.

Los materiales utilizados para la realización de este trabajo, fueron diseñados en conjunto con el personal de la empresa de manera que se pudiera facilitar la medición, toma de datos en campo y el procesamiento digital de la información.

Los métodos para realizar los cálculos de rendimientos fueron tomados del folleto “Costos de Construcción” del curso con este mismo nombre y utilizando la siguiente ecuación.

$$R = \frac{t * n}{V}$$

Donde:

- R: Rendimiento.
- t: Tiempo de medición realizado.
- n: Número de trabajadores observados.
- V: Volumen de trabajo terminado.

La utilización de esta fórmula permite obtener un valor numérico a partir del cual se puede traducir el muestreo realizado en datos que representen el tiempo para realizar una actividad y el volumen de trabajo obtenido en forma de costo para el proyecto, puesto que relacionar horas de trabajo con avance físico alcanzado, representa un precio directo para el proyecto.

El método utilizado para el cálculo de la productividad fue implementado por la empresa, a raíz de una consultoría externa realizada por la Universidad Católica de Chile, conocido con el

nombre de “Análisis de Proceso” y fue seleccionado por el conocimiento que poseía la empresa del mismo, obteniendo resultados estadísticamente muy confiables y facilitando el entendimiento de la información por parte del equipo de construcción, debido a las capacitaciones impartidas sobre esta metodología en la empresa.

El objetivo de esta técnica de evaluación es determinar el nivel de actividad del proceso, tanto global como por cuadrilla y medir la eficiencia en búsqueda de alguna oportunidad de mejora.

Para llevar a cabo estas observaciones, se definieron los tipos de trabajo para la cuadrilla en estudio, es decir, qué tipo de trabajo es productivo, contributivo y no contributivo para la actividad. Luego se procedió a realizar la observación y una vez terminada la misma se determinan los porcentajes de cada uno de estos tipos de trabajos y de esta forma encontrar cuáles son los factores que afectan en mayor importancia la actividad.

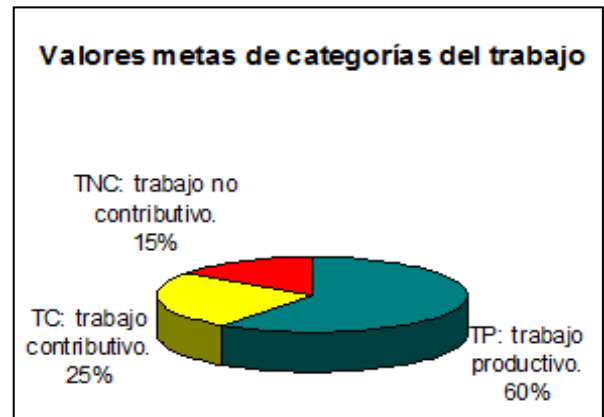
La frecuencia de las anotaciones de muestreo fue de un minuto, siempre que fuera físicamente posible para realizar la toma de datos, con no menos de 384 en total o las que hayan sido necesarias para observar como mínimo el cincuenta por ciento de la actividad, esto para obtener resultados estadísticamente confiables, con un porcentaje de error del 5%².

Como resultado del estudio de rendimientos realizado, se determinó que de manera general se está presupuestando con información imprecisa, lo que implica grandes costos durante la ejecución de las obras. Así al comparar los rendimientos utilizados en el presupuesto del proyecto visitado con los rendimientos reales obtenidos con el estudio en campo, ellos difieren en gran magnitud, estando muy por debajo los primeros. Esto implica una sobrecarga laboral para la mano de obra, al imponerse metas de producción prácticamente imposibles de alcanzar.

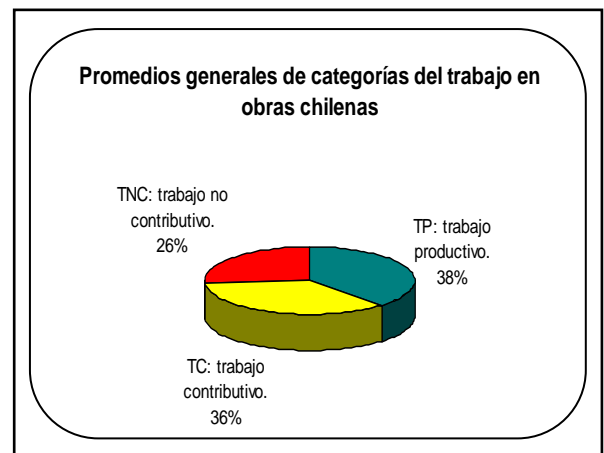
Por último, en cuanto a la productividad alcanzada por las cuadrillas observadas, se puede concluir la dificultad que presenta la industria de la construcción en la actualidad para

alcanzar un trabajo eficiente y eficaz, pues es difícil lograr un trabajo provechoso.

Esto puede deberse a la rotación de personal, lo que genera que siempre se mantengan las cuadrillas dentro de la curva de aprendizaje. Además, no planear las actividades diarias generan desordenes en el proceso constructivo y repercuten en los rendimientos mostrados.



Valores óptimos de productividad para la industria de la construcción. Fuente: Serpell (2002).



Promedios generales de productividad alcanzados en obras chilenas. Fuente: Serpell (2002).

² Oglesby, C. H., Parker, H. W., & Howell, G. A. (1989). *Productivity improvement in construction*. New York: McGraw-Hill.

Introducción

Objetivos

Objetivo general

- Medir y analizar rendimientos y productividad de mano de obra, en tres actividades constructivas, durante la construcción de un Centro de Distribución de 54000m².

Objetivos específicos

- Medir rendimientos y productividades en las actividades de pega de bloques de mampostería, placas aisladas de cimentación y muro de retención.
- Identificar los factores que afectan negativamente los rendimientos y productividades de los procesos seleccionados.
- Generar recomendaciones para disminuir el efecto negativo de los factores identificados.
- Realizar un análisis de costo para determinar el efecto de la optimización de los procesos constructivos en la utilidad de los proyectos.

Alcance y limitaciones

- Las mediciones de campo fueron realizadas a temperaturas de entre aproximadamente 25°C a 30°C, debido a que por políticas de la empresa cuando se tenían fuertes lluvias los trabajos debían detenerse.
- En la zona donde se llevó a cabo el proyecto existieron cambios drásticos en el clima, pasando de altas temperaturas a tormentas, lo cual justifica el punto anterior.
- Las actividades analizadas fueron seleccionadas en conjunto con el equipo del proyecto de acuerdo con la importancia de las mismas. Estas actividades fueron: pega de bloques de mampostería, placas aisladas y muro de retención.
- Se realizó el análisis de las actividades estudiadas. A partir del mismo se generaron recomendaciones para mejorar los procesos constructivos.
- El análisis de costos se realizó determinando la cantidad de dinero que se ahorraría la empresa constructora si se disminuyeran los tiempos no contributivos en cada actividad.
- Las recomendaciones generadas como resultado del análisis de rendimiento y productividad se describen en su propio apartado dentro del proyecto.

Planteamiento del problema

A través de la historia, la industria en general ha alcanzado grandes avances en materia de productividad, ahora gracias a la excelente planificación y el orden con que se manejan los recursos se han obtenido modelos de producción en línea que permiten una producción masiva de cualquiera que sea el producto que se esté fabricando, en el tiempo estipulado y con la calidad garantizada.

Caso contrario, el sector de la construcción siempre ha sido un área poco desarrollada en materia de productividad, teniendo poca planificación y mucho desorden para terminar sus proyectos constructivos, lo cual repercute en constantes retrasos, aumento de los costos y problemas con los clientes dada la necesidad de hacer la construcción más efectiva y eficiente.

Sin embargo, en la actualidad se han desarrollado metodologías para mejorar la productividad en la construcción y poder disminuir los tiempos de ejecución, cumpliendo a su vez, con la calidad requerida para ofrecer un producto de primera clase.

Estas metodologías se enfocan entre otros temas, a la mano de obra necesaria para ejecutar los proyectos, analizándola y buscando oportunidades de mejora para acelerar el proceso constructivo.

Es entonces que, debido a la escasez de mano de obra calificada que existe en el sector de la construcción, y considerando la influencia que posee este recurso en cuanto al avance de la obra y por ende su repercusión en el presupuesto, las empresas constructoras ven cada vez más importante mejorar e incrementar la productividad de este recurso, tomando en cuenta las condiciones propias del sector.

Por lo tanto, este proyecto se enfocó en este recurso indispensable, la mano de obra en los proyectos constructivos, entendida como el conjunto de personas que realizan las operaciones, los que plantean y controlan, los que hacen el trabajo de oficina y de investigación,

en resumen, aquellos que tengan una actividad de dirección, ejecución o de control³.

De esta manera, al realizar este estudio se buscan soluciones a los distintos procesos analizados para mejorar cada uno de ellos, con el fin de reducir costos y lograr mayor competitividad en el mercado de la construcción que por si solo, ya es difícil.

Antecedentes

La Empresa Constructora Volio y Trejos Asociados S.A., como parte de su filosofía, promueve anualmente el desarrollo de nuevos sistemas que aporten valor agregado.

Dentro de este pensamiento, durante el año 2007 la empresa constructora comenzó a desarrollar un sistema de evaluación de la productividad para los proyectos en desarrollo, esta labor estuvo a cargo del Departamento de Sistemas de Información que a su vez es dirigido por un Gerente de la Empresa.

En un principio, se formularon los procedimientos y se inició con los muestreos y los registros correspondientes.

Como parte del proceso, la empresa constructora contrató una consultoría externa a cargo de una empresa extranjera con 68 años de historia en este campo.

La consultoría consistió en realizar un diagnóstico de la labor del Departamento de Sistemas de Información, con respecto al desarrollo de los sistemas de evaluación de la productividad dentro de la empresa constructora.

A partir de este diagnóstico se da una transferencia de conocimientos, enriqueciendo lo ya alcanzado por el departamento, así como capacitación para el equipo de construcción y gerentes de la empresa con el fin de involucrar a los equipos de trabajo y de obtener el mayor provecho de la información.

Como parte de la consultoría se establecieron metas por parte de la constructora las cuales se evaluaron un año después.

Para la evaluación de la productividad, la empresa constructora estableció dos

³ Alfaro, Z., Luis, A. (1998). Identificación y evaluación de factores que afectan la productividad de la mano de obra en la construcción. Universidad de Costa Rica. Facultad de Ingeniería. Escuela de Ingeniería Civil. San José, Costa Rica.

herramientas o procedimientos de evaluación los cuales se expondrán más adelante. Estos procedimientos son los que se tomarán como base, para desarrollar el presente proyecto de graduación.

Una vez que se optimizaron estas herramientas se llevaron a cabo los correspondientes estudios en cada uno de los proyectos que se tenían en construcción, dando buenos resultados, ya que de esta forma mejoraron los distintos procesos constructivos, acelerando la ejecución de las actividades y manteniendo siempre el cumplimiento de las especificaciones técnicas.

Sin embargo, a pesar de la gran ayuda que significaron estos constantes estudios en cada uno de los proyectos que se realizaban, debido a situaciones propias de la empresa, este sistema de evaluación tuvo que ser cerrado.

Por lo tanto, el presente año con la entrada de una ingeniera industrial a la empresa y con la realización de este proyecto de graduación, se reactivan las labores en esta área y se iniciaron las evaluaciones de los distintos proyectos en busca de mejoras para incrementar la productividad en la empresa y con esto aumentar la competitividad de la constructora.

Marco teórico

Productividad

Se puede establecer que este concepto es la relación existente entre la producción obtenida y los recursos empleados para llegar a obtenerla. Es decir, productividad es el uso de manera eficiente de los diferentes recursos disponibles para llevar a cabo una actividad.

Por lo tanto, tener una mayor productividad es significativo de que se está obteniendo más con la misma cantidad de recursos empleados o dicho de otra manera, es alcanzar un mayor volumen de producción con la misma calidad y recursos. Por otra parte, se indica que productividad es la relación entre lo producido y lo gastado en ello y se puede expresar como⁴:

$$\text{Productividad} = \frac{\text{Cantidad producida}}{\text{Recursos empleados}} \text{ (Ecuación 1)}$$

Además, se debe tomar en cuenta que el concepto de productividad involucra también la eficiencia, (buena administración de los recursos para completar un producto específico) así como la efectividad (cumplimiento de los criterios de calidad a la hora de elaborar el producto) ya que de nada serviría producir mucho utilizando adecuadamente los recursos disponibles, si los mismos resultan de mala calidad.

Es por esto que el objetivo de cualquier empresa dedicada a la construcción, es ubicarse en un ámbito donde se posea una alta eficiencia y alta efectividad, ya que solo así es posible lograr una alta productividad.

Este término se encuentra asociado a un proceso de transformación donde ingresan todos y cada uno de los recursos necesarios para producir un material o un bien y por medio de este proceso se obtiene el producto final. En los proyectos de construcción, los principales recursos empleados son los siguientes:

- La mano de obra.
- Los materiales.
- La maquinaria y equipos.

Tomando en cuenta estos recursos que son utilizados en la construcción, es posible exponer sobre los siguientes tipos de productividades.

- **Productividad de los materiales:** En la construcción es importante una buena utilización de los materiales, evitando todo tipo de pérdidas.

⁴ Serpell, A. (2002). Administración de operaciones de construcción (2ª ed.). México: Alfaomega.

- **Productividad de la mano de obra:** Es un factor crítico, ya que es el recurso que generalmente fija el ritmo de trabajo en la construcción y del cual depende, en gran medida, la productividad de los otros recursos.
- **Productividad de la maquinaria:** Este factor es importante por el alto costo de los equipos, por lo tanto, es relevante evitar las pérdidas en la utilización de este tipo de recurso⁵.

Al observar lo mencionado anteriormente por el autor, es importante señalar que todos los participantes de un proyecto constructivo, aparte de beneficiarse debido a una mejora en la productividad, son responsables de lograr la misma ya que estos son los que aportan los distintos componentes del trabajo a realizar.

En el caso de la mano de obra, como se comentó anteriormente, al ser un factor crítico, es indispensable que estén presentes tres aspectos básicos para que este recurso sea productivo, los cuales son⁶:

- Un obrero debe “desear” realizar un buen trabajo, lo que está relacionado con la motivación y satisfacción en el trabajo.
- El obrero debe “saber” hacer su trabajo, lo que tiene relación con la capacitación y entrenamiento del mismo.
- El obrero debe “poder” realizar un buen trabajo, lo que implica una administración eficiente y efectiva.

Causas de pérdida de productividad

Las principales causas que inducen a la pérdida de productividad en el desarrollo de un proyecto constructivo se encuentran clasificadas en 8

⁵ Serpell, A. (2002). Administración de operaciones de construcción (2ª ed.). México: Alfaomega.

⁶ Serpell, A. (2002). Administración de operaciones de construcción (2ª ed.). México: Alfaomega.

categorías las cuales se explicarán a continuación⁷.

Problemas de diseño y planificación

El retraso de los diseños, tener diseños muy complejos, la falta de planificación y preparación de las obras, una mala estimación de costos, junto con falta de información en campo y de herramientas para poder llevar a cabo el proceso de ejecución de las labores diarias, generan demoras importantes y por lo tanto se disminuye considerablemente la productividad del proyecto.

Ineficiencia de la administración

Existen varias insuficiencias por parte de la administración de los distintos proyectos que generan pérdidas de productividad. Entre estas tenemos la falta de una supervisión efectiva (muchos obreros trabajando sin supervisión alguna), problemas de coordinación debido a una mala organización ejecutiva, mala planificación de los trabajos pues estos son ejecutados por personal no calificado.

Adicionalmente, muchos de los proyectos están sub-poblados de personal ejecutivo y no se puede dar abasto con todas las labores presentes, o por el contrario se posee un sobrecargo de tareas administrativas lo cual genera que no se pueda dar la adecuada dirección de la obra.

Métodos inadecuados de trabajo

La deficiente utilización de los recursos debido a cantidades ineficientes de obreros en las cuadrillas, el mal aprovechamiento de los materiales, el uso de equipos o herramientas no aptos para el tipo de trabajo debido a la ausencia de alternativas más eficientes, así como no utilizar la experiencia de proyectos anteriores, son causas que provocan desmejoras importantes en la productividad de la obra.

⁷ Serpell, A. (2002). Administración de operaciones de construcción (2ª ed.). México: Alfaomega.

Grupos y actividades de apoyo deficientes

Los problemas ocasionados por las actividades de apoyo se encuentran estrechamente relacionados con la existencia de recursos. Por lo tanto, algunas de las deficiencias que se pueden dar son: Pocos recursos para realizar una actividad, la no disponibilidad del recurso por razones externas o por falta de planificación, deficiente control de los recursos e inadecuado mantenimiento de los recursos que lo necesitan.

Problemas del recurso humano

Una mala capacitación del personal, falta de motivación y satisfacción en el proyecto y la poca o nula utilización de la experiencia del equipo de trabajo provoca problemas de calidad o lentitud en las distintas actividades, lo que se traduce en una deficiente productividad.

Problemas de seguridad

Los inadecuados niveles de seguridad en la obra provocan un impacto en la motivación y el ambiente de trabajo, lo cual puede afectar la productividad. Adicionalmente, los accidentes provocados por los bajos niveles de seguridad provocan pérdidas económicas que pueden llegar a ser de gran escala.

Problemas de los sistemas formales de control

Los sistemas de control que se desarrollan en los proyectos se encuentran orientados a la comparación de costos reales con los presupuestados, sin embargo, estos sistemas no toman en cuenta la medición periódica de productividad y por esto, no se muestran problemas en cuanto a este tema, evitando que se puedan realizar acciones correctivas, además no se indican de manera explícita las deficiencias en las actividades que generan apoyo a la producción. Todo esto ocasionan ineficiencias

que a la postre disminuyen la productividad de la obra.

El clima

Las condiciones climatológicas en cualquier proyecto constructivo afectan de gran manera la productividad de las labores de los obreros, esto debido a que no siempre se puede encontrar algún método para evadir un fenómeno natural como lo es la lluvia y por lo tanto, se presentan retrasos indeseados que afectan de manera importante el costo de la obra.

Es por esto que se decide tomar en cuenta este factor y exponer las consecuencias del mismo en lo que respecta a la productividad y costo en la construcción.

Un estudio que se realizó respecto a las consecuencias del factor climatológico en las construcciones se resume a continuación.

De los 365 días del año, después de restar los feriados obligatorios, los domingos y medio día de los sábados, el total de días laborables es de 280; ahora bien, si no se laboran los sábados, el total de días laborables se reduce a 254.

En relación con el factor clima, para la mayoría del país (se exceptúa la provincia de Limón), la estación seca comprende de noviembre a abril (5 meses), y la lluviosa de mayo a octubre (7 meses). En Limón, el efecto del Mar Caribe hace que en esta provincia el patrón de lluvias sea diferente.

Si a los días laborables se les castiga en función del brillo solar, el cual se reduce en la época de invierno, se tiene que de los 280 días que tiene la empresa para laborar incluyendo los sábados, las horas efectivas laborables solo alcanzan el 84 % del total de horas disponibles laborables; situación que se torna más crítica si no se laboran los sábados, en cuyo caso se reduce al 77 % las horas efectivas laborables.

El disponer de menor brillo solar afecta en mayor medida a la provincia de Limón, le sigue en orden las provincias de Cartago y San José; mientras que Guanacaste, Puntarenas y

Alajuela, en orden descendente, disponen de más horas de brillo solar⁸.

De modo general, se conoce cuál es el efecto que produce las condiciones climáticas en cada una de las provincias de nuestro país. Por lo tanto, es de suma importancia tomar en cuenta este fenómeno en el momento de realizar el planeamiento y presupuesto de cualquier proyecto, puesto que en las épocas lluviosas se conoce que los costos aumentan aproximadamente entre un 15% y un 20%.

Mejoramiento de la productividad

Debido al gran número de problemas que se pueden encontrar en un proyecto constructivo, es de suma importancia realizar un estudio adecuado que permita evaluar la situación que presenta una empresa o proyecto y de esta manera tomar las acciones correctivas que permitan solucionar los problemas y mejorar la productividad.

Por lo tanto, para ejecutar esta labor se establece de manera general un plan de mejoramiento de productividad que se menciona a continuación⁹.

- **Desarrollar mediciones de la productividad:** Estas mediciones deben ser realizadas por los gerentes responsables de línea con asistencia de asesores conforme se necesite. Algunas unidades organizacionales pueden tener más de una medición total agregada.
- **Establecer objetivos para mejorar la productividad:** Estos objetivos de

⁸ Muñoz, F. (2004). Factores que favorecen o limitan la productividad de la mano de obra en proyectos de construcción. Universidad de Costa Rica. Facultad de Ingeniería. Escuela de Ingeniería Civil. San José, Costa Rica.

⁹ Muñoz, F. (2004). Factores que favorecen o limitan la productividad de la mano de obra en proyectos de construcción. Universidad de Costa Rica. Facultad de Ingeniería. Escuela de Ingeniería Civil. San José, Costa Rica.

productividad deben ser realistas y depender del tiempo.

- **Desarrollar planes para alcanzar metas:** En este punto el gerente de proyecto debe decidir exactamente cómo alcanzar los objetivos.
- **Poner en marcha el plan:** Esto normalmente será llevado a cabo por medio de la organización del proyecto. La puesta en marcha es, por supuesto, mucho más fácil si los gerentes de proyectos y las fuerzas de trabajo han formulado el plan desde el inicio.
- **Medir los resultados:** Este paso requiere la obtención de datos y la evaluación periódica del alcance de los objetivos. Si los resultados son acordes, no se requiere acción adicional y, si no, se requerirá una acción correctiva.

Flujo de trabajo

¹⁰Los costos y la programación en un proyecto constructivo van mejorando conforme mejora la administración del flujo de trabajo. Este concepto se entiende como el movimiento de materiales, información y equipo a través de un sistema que para el caso de la industria de la construcción son los proyectos que se estén llevando a cabo. Por lo tanto, se tiene que los participantes en el sistema generalmente conforman el siguiente equipo de trabajo: Gerente de Proyecto, Ingenieros Residentes, Maestros de Obra y las distintas cuadrillas asignadas, aparte de toda la organización administrativa de la empresa constructora.

Consecuentemente, en la medida que los movimientos de materiales e información no muestren un buen desempeño, se producirán desperdicios los cuales obstruirán el flujo de trabajo y retrasará el progreso.

La planificación es el mecanismo primario para organizar las actividades constructivas y, las tendencias actuales de planificación no aseguran

¹⁰ Muñoz, F. (2004). Factores que favorecen o limitan la productividad de la mano de obra en proyectos de construcción. Universidad de Costa Rica. Facultad de Ingeniería. Escuela de Ingeniería Civil. San José, Costa Rica.

la confianza en el movimiento de las tareas entre las actividades y entre las cuadrillas. Un conjunto de reglas son usadas para asegurar la solidez apropiada de las tareas antes de ser incorporadas al plan. Estas son:

- **Definición:** Las tareas han sido especificadas con los detalles adecuados.
- **Solidez:** Que los materiales requeridos y la información, además del trabajo pre-requerido, estén a la mano (disponibles).
- **Secuencia:** Que las actividades estén alineadas en el mejor orden.
- **Tamaño:** que las tareas concuerden con las capacidades de la cuadrilla.
- **Aprendizaje:** que las razones por las cuales las actividades están incompletas sean seguidas y registradas.

Estas reglas van dirigidas de manera indirecta al flujo de mano de obra ya que se orientan a la capacidad de las cuadrillas y el trabajo que se les ha asignado. Además, es importante recalcar que mientras mejore la solidez de las distintas actividades del proyecto, se aumentará el flujo de trabajo y por ende la productividad.

Flujo de mano de obra

¹¹La administración del flujo de la mano de obra tiene un papel importante para alcanzar un buen desempeño constructivo en el proyecto. Lo anterior no es tan sencillo de conseguir puesto que en la construcción se presentan diferentes situaciones que afectan al flujo de la mano de obra, como lo pueden ser:

- El número de ubicaciones de trabajo y las necesidades de la mano de obra varían a través del curso del proyecto.
- Cada operación de construcción tiene un número óptimo de trabajadores por equipo.
- La variación de la cantidad de trabajo disponible, es afectado por las demandas de horario, cambios, errores de diseño, clima, secuencia, interferencias en la cuadrilla y otras causas.

Por esto, en procura de alcanzar un buen desempeño constructivo en el proyecto, la administración del flujo de la mano de obra es indispensable.

El flujo de la mano de obra es distinto del flujo del trabajo, pues el primero requiere seguimiento y ubicación del recurso mano de obra, en varias tareas y asignaciones de trabajo. Además, el flujo de mano de obra involucra la interacción de la cuadrilla con otras cuadrillas y otros trabajos.

Investigaciones en proyectos concretos señalan que la variabilidad de los resultados de la construcción, al nivel de cuadrillas, es inevitable, inclusive en proyectos con un buen desempeño. Enfrentando esta variabilidad, la forma de minimizarla en la productividad de la mano de obra sería modificar este recurso, basándose en la cantidad de trabajo por hacer. Otro ejemplo es cuando se enfrentan las adversidades climáticas o las demoras en el trabajo, a los obreros los mandan para la casa o se les asignan otras labores. Si hay mucho trabajo por hacer, un horario de horas extra se puede poner en práctica.

¹¹ Muñoz, F. (2004). Factores que favorecen o limitan la productividad de la mano de obra en proyectos de construcción. Universidad de Costa Rica. Facultad de Ingeniería. Escuela de Ingeniería Civil. San José, Costa Rica.

Metodología

Metodología

1. Se realizó una revisión en la literatura de las técnicas más recomendadas para aplicar en procesos de construcción con el objetivo de seleccionar la que mejor se adapte a las características de los procesos a estudiar.
2. Se efectuó un análisis en campo de cada una de las tareas que componen las actividades estudiadas con el fin de realizar una adecuada toma de datos.
3. Se diseñaron formularios para aplicar en la medición de rendimientos y productividades de las actividades.
4. Una vez obtenidos los datos de campo se procede a realizar un análisis comparativo para determinar las deficiencias y/o fortalezas de los procesos estudiados.
5. Identificadas las fortalezas y/o deficiencias de los procesos estudiados, se procede a realizar las recomendaciones adecuadas para mejorar la productividad de la empresa.

Procedimientos

Reseña del proyecto en estudio

El proyecto se encuentra ubicado en El Coyol de Alajuela, específicamente 700 m al oeste del centro de distribución (CEDI) de CoopeAgropal R.L. En las figuras 1, 2 y 3 se muestran panorámicas del proyecto.



Figura 1. Entrada principal del proyecto.



Figura 2. Vista del sector noroeste del proyecto.



Figura 3. Vista del sector sureste del proyecto.

El mismo presenta un área total de construcción de 54300m² y se encuentra dividido en 19 módulos los cuales se citan a continuación:

- **Módulo 1:** Nave central.
- **Módulo 2:** Oficinas de recibo.
- **Módulo 3:** Oficinas de despacho.
- **Módulo 4:** Área de juegos.
- **Módulo 5:** Comedor.
- **Módulo 6:** Pasillo de acceso, oficinas de control, baños, vestidores generales y bodegas.
- **Módulo 7:** Área de parqueo de carretillas y cuarto de baterías.
- **Módulo 8:** Cuarto de congelados, cámara fría, servicios sanitarios, baños y vestidores.
- **Módulo 9:** Taller de mantenimiento para camiones.
- **Módulo 10:** Área de devoluciones y reciclaje.
- **Módulo 11:** Taller de mantenimiento.
- **Módulo 12:** Cuarto de *limpiex*.
- **Módulo 14:** Cuarto de proveedores.
- **Módulo 15:** Encargado de variables.
- **Módulo 16:** Cuarto para transportistas.

- **Módulo 17:** Acceso principal, caseta de control, cuarto de guardas, servicios sanitarios.
- **Módulo 25:** Sala de espera.
- **Módulo 26:** Sanitarios acceso sur.
- **Módulo 27:** Tanque Incendio.

Además, se presentan 5 frentes de trabajo para poder levantar la obra. El primer y segundo frente, se encuentra trabajando en el módulo 1 que es la nave principal, el tercer frente de trabajo se encuentra laborando en los módulos 5, 6, 7, 8 y 27, el cuarto frente de trabajo está ubicado en los módulos 9,10, 16 y 17 del proyecto, por último, el quinto frente de trabajo se distribuye en los módulos restantes del proyecto.

El sistema constructivo que presenta la obra es el siguiente.

La nave central es una estructura principalmente de acero, que utiliza 132 pedestales de concreto para transmitir las cargas hacia las fundaciones, además se usarán paneles prefabricados de concreto para cerrar la edificación. Por último, esta nave tendrá una estructura de techo especial para mantener un ambiente adecuado para el almacenamiento de los productos. Esta actividad no está a cargo de la empresa pues el cliente contrató otra compañía para realizar este trabajo.

Por otra parte, los demás módulos consisten básicamente en muros de mampostería. Estos poseen un acabado de bloque expuesto, por lo cual el control de calidad del trabajo es intensivo, ya que el acabado debe ser perfecto.

El proyecto inició en agosto del 2012 y su fecha de entrega es en el mes de febrero del año 2013, para cumplir con una duración según programa de aproximadamente 7 meses.

Metodología de evaluación de productividad

Para llevar a cabo la toma de datos y el análisis de los mismos, con el fin de determinar la productividad de los procesos constructivos en obra, se establecen dos herramientas o procedimientos de evaluación los cuales son:

- Sistema de información de niveles de actividad (SINA).
- Análisis de procesos (AP).

Estos dos procedimientos de evaluación son la base con la cual la empresa pretende determinar sus niveles de productividad. Estas herramientas se sustentan en las “categorías de trabajo”, a partir de las cuales se clasifica el trabajo de la mano de obra en los proyectos constructivos. Las “categorías de trabajo” antes mencionadas según Alfredo Serpell son:

- Trabajo productivo (TP).
- Trabajo contributivo (TC).
- Trabajo no contributivo (TNC).

Categorías de trabajo

Como se expuso anteriormente, a partir de las dos herramientas de evaluación de productividad (SINA y AP), se desglosan tres categorías de trabajo, sin embargo, se procede a dividir más estas categorías para poder realizar un análisis más detallado y conocer cuáles tareas son productivas, contributivas o no contributivas. Esta subdivisión se realiza de manera individual para cada una de las actividades que se vayan a estudiar.

Sin embargo, para llevar a cabo estas subdivisiones es de suma importancia conocer la definición de estas categorías de trabajo. A continuación se presentan estas definiciones.

- **Trabajo productivo (TP):** Es aquel trabajo que aporta en forma directa a la producción y agrega valor al producto analizado, como por ejemplo:
 - Colocación de bloques.
 - Colado de concreto.
 - Elaboración de armadura.
 - Encofrar/densofrar.
 - Fabricación de formaleta.
- **Trabajo contributivo (TC):** Es aquel trabajo de apoyo que debe ser realizado para que pueda ejecutarse el trabajo productivo. Ejemplos:
 - Transportes.
 - Orden y limpieza.
 - Seguridad ocupacional.

- Instrucción.
- Medición.

- **Trabajo no contributivo (TNC):** Son aquellas actividades que no generan avance o valor agregado a la obra, tales como:
 - Desplazamientos sin objetivo conocido.
 - Retrabajos o reprocesos.
 - Tiempo ocioso.
 - Esperas por: material, método, maquinaria.
 - Descansos.

Para alcanzar un trabajo óptimo en el campo de la construcción, se establecen según estudios realizados en Chile, los valores meta a partir de los cuales se puede decir que la actividad realizada es eficaz y eficientemente productiva¹².

En la figura 1 se muestran estos niveles.

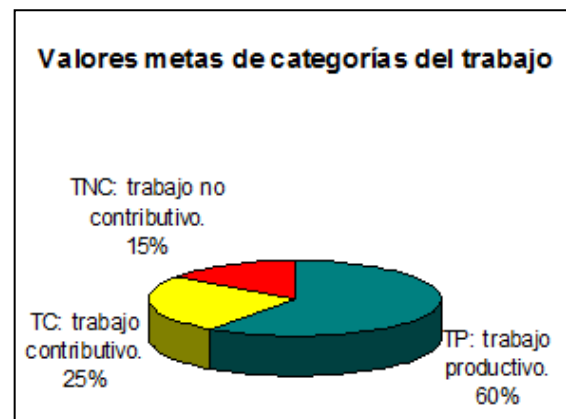


Figura 4. Valores meta para obtener un trabajo productivo en la construcción.

Sistemas de información de niveles de actividad

Este es el primer método de evaluación que se utiliza para llevar a cabo el análisis de productividad de un proyecto.

El objetivo del SINA es determinar los niveles de actividad del proyecto de acuerdo con las categorías de trabajo productivo, contributivo y no contributivo con el fin de buscar

¹² Serpell, A. (2002). Administración de operaciones de construcción (2ª ed.). México: Alfaomega.

oportunidades de mejora para la productividad de la obra. A partir del SINA se obtiene una visión general del proyecto y se encontraron las actividades más críticas en las que se debe realizar un estudio profundo para analizar las ineficiencias del proceso constructivo.

La aplicación del SINA en los proyectos se realiza con muestreos semanales. Durante la semana de visita al proyecto, se muestrea en tres medios días (mañana – tarde). Se procura que las visitas tengan algún grado de aleatoriedad, lo anterior para que los datos sean lo más representativamente posible, esto significa que se muestrea durante dos mañanas y una tarde, o viceversa.

A partir de la definición de las actividades se establece un recorrido, el cual se define por las características del proyecto, para llegar a tener contacto visual con las cuadrillas que se encontraban realizando los trabajos. Esta exploración se mantiene en la medida de lo posible durante el muestreo. Por razones estadísticas se recomienda que¹³:

En general, en cualquier sistema de evaluación de la productividad se realice no menos de 385 observaciones, ya que de esta forma se obtiene un grado de confianza del 95 % y un error no mayor a +/- 5 %.

Para que el muestreo sea significativo estadísticamente se busca alcanzar un número de observaciones mayor o igual 1152 con lo cual se obtiene un porcentaje de error del 3 %. Por lo tanto, se debe obtener por media mañana de muestreo un promedio de 385 observaciones con lo que en tres medias mañanas se alcanza la cifra total. En caso de no alcanzarse la cifra se puede programar una visita adicional para obtener el número deseado o bien recalcular el porcentaje de error y asumirlo dentro del análisis.

El procedimiento para la clasificación de la mano de obra por medio del SINA inicia identificando y clasificando al personal en las categorías siguientes:

- Personal propio de la empresa constructora.
- Personal perteneciente a subcontratos (Subcontratistas).

A su vez dentro de las categorías iniciales anteriores se identificó al personal en sus respectivas labores o especialidades, como por

ejemplo: formaleta de vigas, armaduras, concreto.

Finalmente se clasifica en las diferentes categorías de trabajo (TP, TC o TNC) a cada obrero, todo aquel en el área de construcción.

Quedan excluidos del análisis aquellos obreros que se encuentran fuera del área propia de construcción, entendiéndose por área de construcción el espacio físico donde se observa el avance de la obra. Por lo tanto, zonas de talleres de armado de acero, bodegas y otras similares no son consideradas dentro del área propia de construcción; de donde se concluye que el área de construcción no es igual al área del proyecto, y es únicamente la primera la que se contempla dentro del SINA.

A su vez las personas siguientes son excluidas del análisis:

- Gerente de proyecto.
- Profesionales residentes.
- Administrador.
- Planillero.
- Bodeguero.
- Maestros de obras y segundos a cargo tanto de la constructora como de los subcontratistas.

El motivo de no considerar a estas personas dentro del análisis es por la naturaleza de su trabajo, el cual es principalmente de supervisión.

Formulario para SINA

Para realizar las mediciones en campo que permiten elaborar el análisis general, se utiliza una computadora de mano, la cual facilita el conteo de las observaciones realizadas, esto por medio del software "Umt Manager" desarrollado por la compañía "Laubrass Inc". Por lo tanto, una vez tomados los datos con la ayuda de este equipo, se procede a transferir la información del dispositivo a una computadora, la cual toma estos datos y los importa a una hoja electrónica, en la cual se desarrolla el proceso de manipulación de la información tomada en campo.

¹³ Serpell, A. (2002). Administración de operaciones de construcción (2ª ed.). México: Alfaomega.

En la figura 2 se muestra el programa en ejecución.

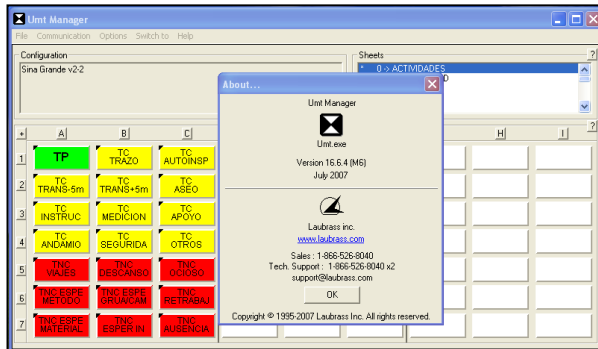


Figura 5. Interfaz de programa Umt Manager para la toma de datos en campo.

Análisis de procesos

Esta es la segunda herramienta de evaluación de productividad, y la que se utilizó en este proyecto. Una vez realizado el SINA y encontradas las actividades más críticas, ya sea por su importancia en el desarrollo del proyecto o por su baja productividad, se llevó a cabo el AP el cual se enfoca únicamente en una actividad en específico. La definición de las actividades que se consideran necesarias para realizarles un análisis de proceso queda a cargo del equipo de construcción del proyecto.

El objetivo de esta metodología de evaluación es determinar el nivel de actividad del proceso, tanto global como por cuadrilla y medir la eficiencia en búsqueda de alguna oportunidad para mejorar.

Para efectuar estas observaciones, se definieron los tipos de trabajo para la cuadrilla en estudio, es decir, se delimitó qué tipo de trabajo es productivo, contributivo y no contributivo para la actividad. Luego de precisar los tipos de trabajo, se realizó la observación y terminada la misma se procede a determinar los porcentajes de cada uno de estos tipos de trabajo antes definidos y de esta forma encontrar cuáles son los factores que afectan en mayor medida la actividad.

La frecuencia de las anotaciones de muestreo fue de un minuto, siempre que fuera físicamente posible para la toma de datos, con no menos de 384 en total o las que hayan sido necesarias para observar como mínimo el cincuenta por ciento de la actividad.

Formulario para AP

Para elaborar los análisis detallados a partir de la medición en campo se utilizó un formulario de papel, ya que en el software “UMT Manager” no se contaba con un diseño de plantilla adecuada para la toma de este tipo de datos

Este formulario de papel es muy sencillo y facilita el trabajo de medición, posee espacios para anotar la fecha, nombre de la actividad, la obra en estudio, el nombre del analista y la hora de inicio y fin de la medición.

Además ubican espacios para identificar a cada uno de los trabajadores analizados y de una columna en el margen izquierdo que se utiliza para llevar el control del tiempo.

Por último, disponen casillas en donde se colocan los códigos de las tareas de cada trabajador en cada tiempo de medición y se reserva un espacio para anotar observaciones relevantes durante el estudio. Ver anexo 1.

Descripción de actividades estudiadas

A partir de los SINA realizados por personal de la empresa se determinaron de manera preliminar los factores que influyen en las distintas actividades en ejecución. Junto a esto, se llevó a cabo una reunión con los ingenieros de obra gris del proyecto, con el objetivo de establecer cuáles eran las actividades críticas de la obra y así analizarlas para determinar los defectos del proceso constructivo y buscar mejoras al mismo.

Producto de esto se definieron las actividades analizadas, las cuales se mencionan a continuación:

- Pega de Bloques de Mampostería.
- Placas aisladas prefabricadas.
- Placas aisladas construidas en sitio.
- Muro de retención.

Pega de bloques de mampostería

A excepción de la nave principal, el resto de módulos que conforman este proyecto están diseñados con muros de mampostería confinada

como su sistema estructural. Además, el diseño arquitectónico aprovechó este sistema constructivo para darle un acabado final de bloque sisado (bloques expuestos con un ancho de sisa de 1cm de espesor y una tolerancia de error de 3mm).

Este tipo de acabado de bloque expuesto es poco común y por lo tanto se cuenta con poca mano de obra calificada para realizar esta labor. Por ende, debido a la poca experiencia con que la empresa cuenta en la construcción de este tipo de muros y al corto plazo de entrega del proyecto, sumado a la gran cantidad de obra que se debe levantar con este sistema constructivo es que se seleccionó esta actividad para ser estudiada por medio del análisis de proceso. En la figura 6 se muestra una imagen del acabado final de estos muros.



Figura 6. Acabado de muros de mampostería sisados.

Los bloques utilizados en este proyecto son suministrados por la empresa Productos de Concreto y los mismos son traídos desde Guápiles por medio de plataformas.

Estos bloques son de tipo “Patarrá” y clase “A” cumpliendo con una resistencia a la compresión establecida por el Código Sísmico de 100kg/cm². Además, los bloques poseen una dimensión final de 15x20x40cm.

Para la construcción de estos muros, primero se procede con la colocación de las 2 primeras hiladas, las cuales determinarán cómo se colocarán los bloques para cumplir con las dimensiones establecidas en los planos.

Estas primeras hiladas, aunque no se tienen que sisar, pues se encuentran por debajo del nivel de piso terminado, son lentas de instalar ya que el albañil debe establecer la ubicación de los bloques tal que se cumplan las dimensiones establecidas en planos.

Una vez realizada esta labor, se procede a colocar las siguientes hiladas, donde a cada 60cm (3 hiladas) se debe situar el refuerzo horizontal utilizando viga bloque para embeber el acero dentro de una colada de concreto. Este proceso se repite hasta finalizar con la altura del muro.

Placas aisladas prefabricadas

Para la realización de este trabajo, la actividad de placas aisladas prefabricadas se dividió en varias sub-actividades las cuales se mencionarán a continuación:

- Excavación para placas.
- Montaje de placas.
- Formaleta de pedestales.
- Colado de pedestales.

Es importante mencionar que el proceso de prefabricación de placas no se observó ya que el mismo tenía un desfase de 2 semanas con respecto al cronograma de la actividad, esto para no generar atrasos en el proceso constructivo.

Por otra parte, la excavación para placas así como la formaleta de los pedestales aplica de igual manera para las placas prefabricadas como para las construidas en sitio, por lo tanto, los datos obtenidos son equivalentes para ambos métodos.

Debido a la cantidad de placas aisladas que se presentan en la nave central del proyecto, se decide prefabricar un total de 82 elementos, lo que representa un 62% del total y así agilizar el proceso utilizando menos personal. Estos elementos prefabricados tenían un considerable desfase de tiempo delante de la excavación, esto para que no se generaran retrasos a la hora de colocar los mismos.

Las placas seleccionadas para prefabricarse son únicamente las que se podían transportar con la grúa móvil disponible en el proyecto. Por ende, debido a esta condición, solo las placas de los ejes A, F, 7 y 1 son realizadas en sitio, ya que por el peso de las mismas, la grúa no podía soportarlas.

Para construir estos elementos se dispone de un patio de prefabricado de placas, en donde los armadores suministran las canastas de

las mismas junto con la armadura del pedestal correspondiente.

Una vez lista la armadura, se procede a colocarla dentro de los moldes previamente preparados con la aplicación del desmoldante. A partir de esto, se realiza el acomodo final del acero en el molde y se realiza la colada.

Ya cuando ha fraguado el concreto y se ha adquirido la resistencia necesaria para ser levantadas por la grúa, se realiza el desencofre.

Este proceso se repite de manera continua para generar un “stock” de placas, de forma tal que se tengan las suficientes para suplir de manera eficiente la necesidad del proyecto. En la figura 7 se muestra una imagen de las placas prefabricadas.



Figura 7. Stock de placas prefabricadas en la nave central listas para ser colocadas.

Cuando se tienen listas las placas prefabricadas, se prosigue con el montaje de las mismas en sus respectivos puntos de colocación. Para este montaje se utiliza una grúa móvil la cual traslada los elementos desde el patio de prefabricado hasta el punto de montaje, ya en el lugar, trabajadores de la constructora realizan el montaje respetando el trazo establecido previamente por el topógrafo del proyecto.

Este proceso no se realiza sin tener la excavación sellada con una capa de concreto pobre o una cama de arena estabilizada con cemento. En la figura 8 se muestra una imagen del montaje de placas prefabricadas.



Figura 8. Montaje de placa prefabricada por medio de grúa móvil.

Cuando se tiene lista la placa, carpinteros de la empresa con sus respectivos ayudantes proceden a realizar el encofrado del pedestal teniendo especial cuidado en la colocación de los pernos de anclaje de la superestructura de acero, ya que los mismos deben estar perfectamente alineados con el trazo establecido por el topógrafo.

Finalmente, ya encofrado el pedestal e instalados los pernos se procede a colar el elemento para seguir con el siguiente pedestal y así sucesivamente hasta finalizar con la actividad. En las figuras 9, 10 y 11 se muestran imágenes de las distintas fases de los pedestales de la nave central.



Figura 9. Pedestal del eje 7C de la nave central, listo para ser encofrado.



Figura 10. Pedestal del eje 8D completamente encofrado.



Figura 11. Pedestal colado y listo.

Placas aisladas coladas en sitio

Al igual que en el caso de las placas prefabricadas, esta metodología de placas coladas en sitio se subdivide en varias tareas, las cuales se citan a continuación.

- Excavación para placas.
- Formaleta de placas.
- Colado de placas.
- Formaleta de pedestales.
- Colado de pedestales.

El proceso de construcción es prácticamente el mismo que en las placas prefabricadas, con la única diferencia de que aquí todo se realiza desde un principio en sitio.

Como se mencionó anteriormente, las placas construidas en sitio son las que debido a sus dimensiones y el peso es tal que la grúa disponible no puede transportarlas. Estas placas son las que se encuentran en los ejes A, F, 7 y 1 de la nave central. En la figura 12 se muestra una fotografía del encofrado de una placa en sitio.



Figura 12. Encofrado de placa del eje 7A de la nave central.

El concreto utilizado para colar tanto las placas como los pedestales en todo el proyecto es proporcionado por la empresa AMCO. Esta compañía se encarga de proveer el concreto para la mayoría de elementos del proyecto, a excepción del concreto para relleno de celdas y para coladas de pequeña magnitud, donde se utiliza el suministro de batidoras ubicadas en el patio de concreto del proyecto.

Muro de retención

La terraza principal, que es el sector donde se ubica la nave central junto con algunos otros módulos, se encuentra 1,2m por encima del nivel de calle terminada. Por otra parte, los módulos 2 y 3 (oficina de recibo y oficina de despacho respectivamente) están en los laterales de esta terraza pero al mismo nivel que la misma.

Por lo tanto, para levantar estas edificaciones, es necesaria la construcción de un muro de retención en el perímetro de las mismas, con el fin de rellenar hasta la altura necesaria para estar al mismo nivel de la terraza principal.

Estos muros tienen una altura de 1,8m desde el nivel de desplante y están contruidos en concreto armado.

El refuerzo horizontal está conformado por varillas #3 a cada 20cm y el refuerzo vertical por varillas #4 también a cada 20cm.

El proceso constructivo de esta actividad es muy sencillo, sin embargo, no se puede descuidar ya que de esto depende el seguimiento de la obra.

Una vez que la zapata de cimentación está lista, los armadores de acero (subcontratados por la constructora) realizan la construcción de la armadura. Cuando se tiene cierto avance en esta actividad los carpinteros de la empresa inician con el encofrado del muro. Ya terminado el encofrado, se coordina la chorrea del elemento la cual se hace al día siguiente si no surge ningún inconveniente. Por último, debido a la velocidad con que se debe trabajar en este proyecto, el desencofrado se realiza 12 horas después de colado el muro, esto únicamente para respetar el tiempo mínimo que sugiere el Código ACI-347. En las figuras 13, 14 y 15 se muestran fotografías del muro de retención del módulo 2.



Figura 13. Vista general del módulo 2.

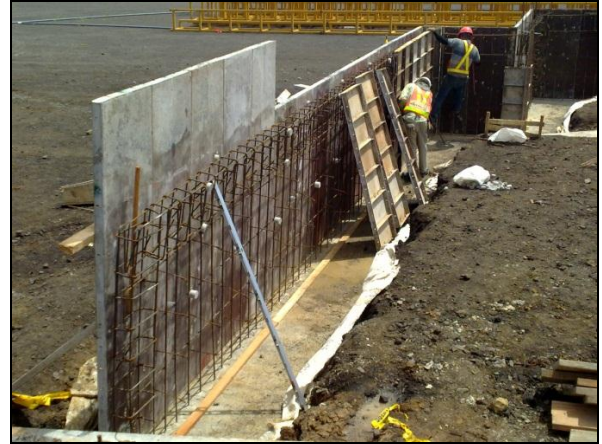


Figura 14. Encofrado del muro de retención del eje D.



Figura 15. Arriostres de soporte para muro de retención.

Toma de datos en campo

Debido al corto plazo del proyecto y a la metodología constructiva empleada por la empresa, se tuvo que variar el método utilizado para la toma de datos de campo de acuerdo con las actividades estudiadas.

Es importante recalcar que todos los estudios fueron realizados con una frecuencia de medición de un minuto.

A continuación, una breve explicación de la manera como se realizó la toma de datos en campo.

Pega de bloques de mampostería

Con el objetivo de avanzar en la actividad de pega de bloques de mampostería, la empresa resolvió subcontratar mano de obra, de manera que se pudiera cumplir con el cronograma establecido durante la etapa de planeamiento del proyecto y con la fecha de entrega pactada en el contrato con el cliente.

Debido a lo anterior, se decidió realizar un análisis comparativo entre la mano de obra del subcontrato y la de la empresa.

Se llevaron a cabo las mediciones diarias durante aproximadamente 6 horas (dependiendo de las condiciones ambientales), por periodos semanales, tanto para la mano de obra de la empresa como para la del subcontratista. Además se debe mencionar que durante la realización de esta medición, se evaluaron dos parejas de trabajadores (albañil y ayudante) para la mano de obra propia de la empresa y la subcontratada.

Es importante recalcar que, debido a la importancia de esta actividad para el avance de la obra, se resolvió junto con el equipo de proyecto darle énfasis a la misma, por lo tanto se obtuvo una mayor cantidad de información para el análisis de productividad.

A partir de la definición previa de esta metodología de trabajo en campo, se procedió a la realización propia de las mediciones.

Placas aisladas

Como se mencionó anteriormente, la actividad de placas aisladas se descompone en una gran cantidad de sub-actividades, las cuales fueron individualmente analizadas.

En este frente, la mano de obra se mantuvo muy dinámica y los trabajadores no permanecían todo el día en una misma actividad, sino que en el momento que se tenía un espacio se procedía a realizar labores en ese sitio para adelantar trabajo. Se tenía mucho movimiento tanto de maquinaria como de personal, de un eje a otro, para cumplir con el planeamiento previamente establecido.

Debido al movimiento de personal por todo el frente de trabajo, se coordinó con los ingenieros del proyecto para ser notificado cuando se realizaba cada una de las sub-actividades que comprenden las placas aisladas, y de esta forma poder realizar las mediciones

necesarias para completar las 385 que estadísticamente implican un porcentaje de error del 5%.

Muro de retención

Esta actividad no es tan dinámica como la pega de bloques, ya que la cuadrilla se concentra en un solo frente de trabajo donde se realizan las labores necesarias para levantar el muro.

De acuerdo con lo anterior, se procedió a efectuar la medición durante todo el periodo de la actividad, ya que la duración de la misma es relativamente corta. Por otra parte, se debe indicar que para este análisis se evaluaron a tres de cuatro parejas (carpintero y ayudante) que se encontraban en el frente de trabajo, durante el proceso de encofrado. Para el proceso de colado del muro se evaluaron siete obreros, los cuales mantenían labores de vibrado y colocación del concreto.

Cálculo de rendimientos

El cálculo de rendimientos posee aplicación de estadística básica para generar un margen de confianza en la medición del comportamiento de las muestras obtenidas.

Para el cálculo propio del rendimiento se utilizó la siguiente ecuación.

$$R = \frac{t * n}{V}$$

(Ecuación 2.)

Donde:

- R: Rendimiento.
- t: Tiempo de medición realizado.
- n: Número de trabajadores observados.
- V: Volumen de trabajo terminado.

Por otra parte, la obtención de los rendimientos proyectados para cada uno de los muestreos se obtuvo con la siguiente ecuación.

$$R_p = \frac{R}{P}$$

(Ecuación 3.)

Donde:

- Rp: Rendimiento proyectado.
- P: Porcentaje de la actividad observado.

Es importante aclarar que para obtener este porcentaje de actividad observado, se recurre a información de la empresa constructora, donde se tiene definido la distribución porcentual de cada una de las tareas que conforman las actividades estudiadas. Por ende, de acuerdo con lo visto en campo durante la medición, se cuantifica el porcentaje de actividad observado. Para conocer esta distribución porcentual de actividades se puede ver el anexo 2.

También se calcula la cantidad de recurso (horas-hombre) perdido, producto de los tiempos no contributivos. Para este cálculo se utiliza la relación que se muestra a continuación.

$$HH_p = \frac{HH}{TNC} \quad (\text{Ecuación 4.})$$

Donde:

- HHp: Recurso en horas-hombre perdido.
- HH: Recurso en horas-hombre utilizado durante la medición en campo.
- TNC: Tiempo no contributivo representado como porcentaje.

Por último, para determinar los rendimientos globales de la actividad de pega de bloques de mampostería se realiza un promedio del rendimiento diario para cada uno de los días muestreados, y este último a su vez, es obtenido sumando la cantidad de recurso utilizado durante el día junto con el avance obtenido. Estos parámetros son introducidos en la ecuación 2 para alcanzar el resultado antes mencionado.

Además, se logra la desviación estándar de los datos obtenidos en campo, así se puede indicar cuál es la variación de los rendimientos para la actividad. Este cálculo se realiza mediante la ecuación clásica de desviación estándar.

$$S_N = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2} \quad (\text{Ecuación 5.})$$

Donde:

- S_N : Desviación estándar.
- N: Total de datos de la muestra.
- X_i : Dato "i" de la muestra obtenida.
- \bar{x} : Promedio de datos para la muestra tomada.

Resultados

Pega de bloques de mampostería

Utilizando la metodología descrita en la sección anterior, se tomaron los datos de campo y se obtuvieron los resultados de productividad y rendimientos para la mano de obra de la empresa y la subcontratada.

En los apéndices 1 y 2 se muestran los resultados para cada una de las parejas estudiadas durante los días de muestreo, tanto para la mano de obra propia de la empresa como para la mano de obra subcontratada.

La información se dividió en mañana y tarde, cumpliendo para cada muestreo diario con el mínimo de medidas para obtener un porcentaje de error de un 5%¹⁴.

Mano de obra propia de la empresa

A continuación se evidencian los cuadros y figuras del análisis global que se realizó a esta actividad.

En el cuadro 1 se exponen los diferentes niveles de actividad de la muestra tomada. En el cuadro 2, el rendimiento obtenido para la cuadrilla muestreada y en el cuadro 3 un resumen de los rendimientos obtenidos.

La figura 16 expresa de manera gráfica los niveles de actividad para el análisis realizado y en la figura 17 se indica la distribución de estos niveles de actividad en las diferentes tareas en que se descompone la misma.

¹⁴ Oglesby, C. H., Parker, H. W., & Howell, G. A. (1989). *Productivity improvement in construction*. New York: McGraw-Hill.

CUADRO 1. NIVELES DE ACTIVIDAD GLOBAL PARA LA MANO DE OBRA PROPIA DE LA EMPRESA		
	Mediciones	Porcentaje
TP	2917	51%
TC	1549	27%
TNC	1211	22%
Total	5677	100%

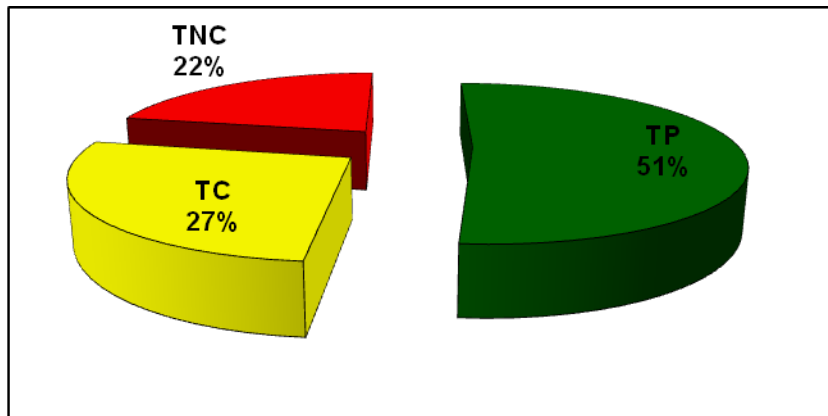


Figura 16. Distribución de los niveles de actividad global para la mano de obra propia de la empresa.

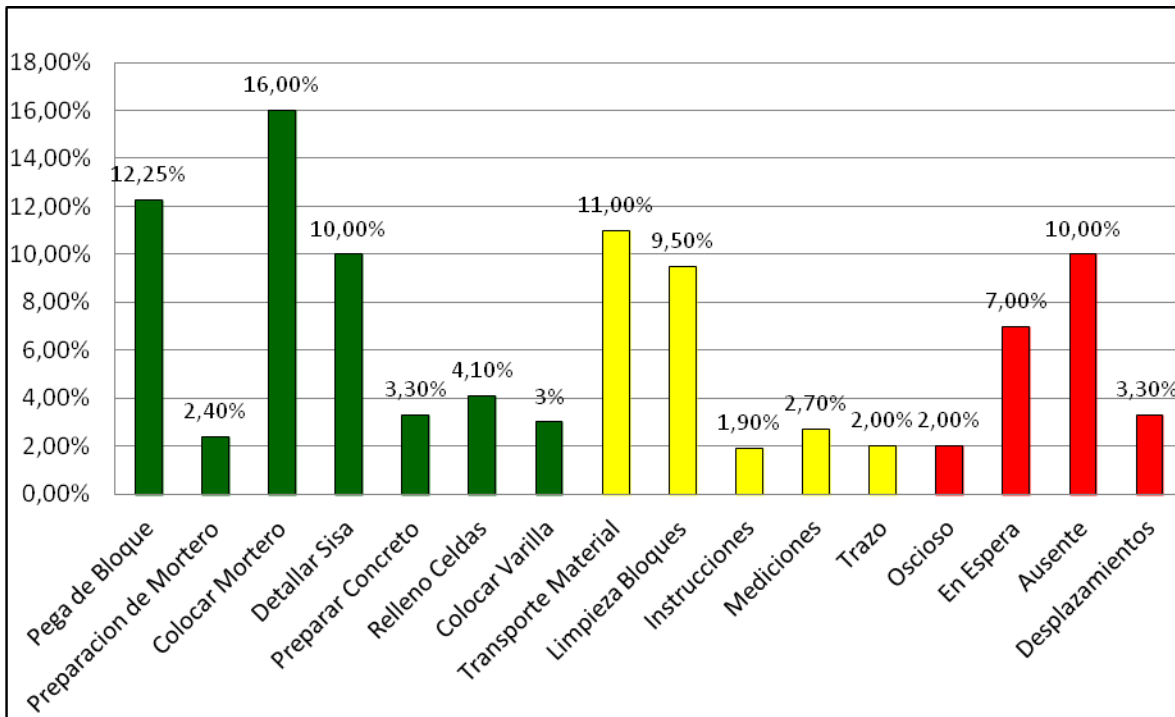


Figura 17. Distribución de actividades global para la mano de obra propia de la empresa.

CUADRO 2. RENDIMIENTO GLOBAL DE LA ACTIVIDAD							
Recurso (HH)	Recurso efectivo (HH)	Avance (m2)	Rendimiento AP (HH/m2)	% Actividad observado	Rendimiento proyectado (HH/m2)	Desviación estándar	HH Perdidas
112,00	87,36	28,70	4,12	80%	5,15	1,15	24,64

CUADRO 3. RESUMEN DE RENDIMIENTOS PARA MANO DE OBRA PROPIA DE LA EMPRESA		
Periodo	Rendimiento (HH/m2)	Desviación estándar
Mañana	4,33	1,48
Tarde	5,45	0,93
Global	5,15	1,15

Mano de obra subcontratada

De igual forma que para la mano de obra propia de la empresa constructora, se muestran los resultados obtenidos de manera global para la actividad de mano de obra subcontratada.

En el cuadro 4 se exponen los diferentes niveles de actividad de la muestra tomada. En el cuadro 5 el rendimiento obtenido para la cuadrilla muestreada y en el cuadro 6 un resumen de los rendimientos obtenidos.

La figura 18 muestra de manera gráfica los niveles de actividad para el análisis realizado y en la figura 19 se indica la distribución de estos niveles de actividad en las diferentes tareas que se descompone la misma.

CUADRO 4. NIVELES DE ACTIVIDAD GLOBAL PARA LA MANO DE OBRA SUBCONTRATADA		
	Mediciones	Porcentaje
TP	2522	46%
TC	1223	22%
TNC	1740	32%
Total	5485	100%

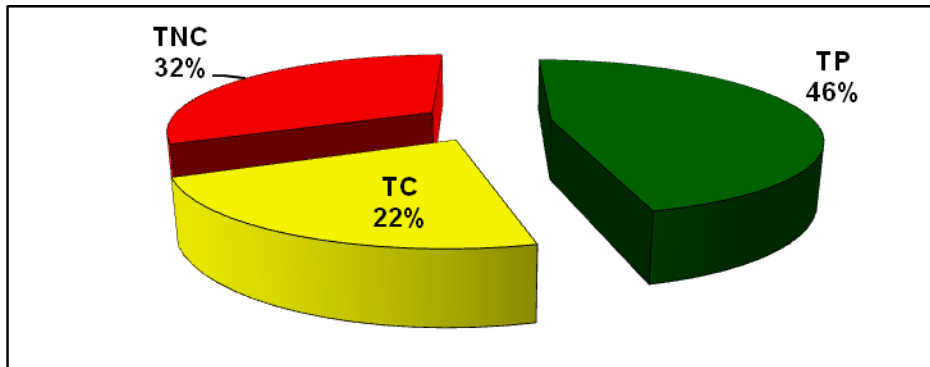


Figura 18. Distribución de los niveles de actividad global para la mano de obra subcontratada.

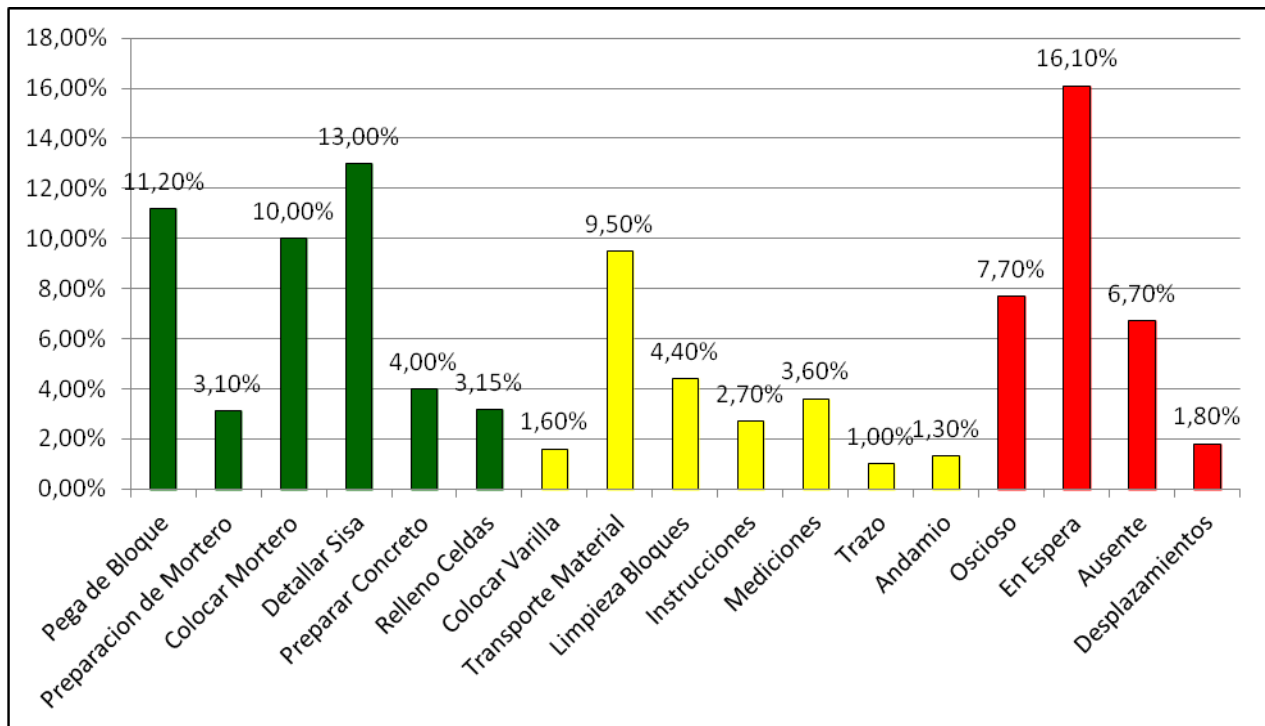


Figura 19. Distribución de actividades global para la mano de obra subcontratada.

CUADRO 5. RENDIMIENTO GLOBAL DE LA ACTIVIDAD							
Recurso (HH)	Recurso efectivo (HH)	Avance (m2)	Rendimiento AP (HH/m2)	% Actividad observado	Rendimiento proyectado (HH/m2)	Desviación estándar	HH Perdidas
92,00	62,55	30,73	2,99	73%	4,10	1,26	29,45

CUADRO 6. RESUMEN DE RENDIMIENTOS PARA SUBCONTRATISTAS		
Periodo	Rendimiento (HH/m2)	Desviación estándar
Mañana	4,06	0,81
Tarde	5,00	2,24
Global	4,10	1,26

Placas aisladas

Como se mencionó en el capítulo de metodología, esta actividad es de mucho movimiento y por lo tanto no se podía realizar la medición con la misma técnica aplicada en la actividad de pega de bloques.

Siguiendo la metodología de trabajo descrita en el capítulo anterior, se obtuvieron los

datos de productividad y rendimiento que se presentan a continuación.

Se mostrarán los resultados de manera individual para cada una de las sub-actividades que comprenden, tanto las placas prefabricadas como las construidas en sitio.

Excavación

Durante la toma de datos en campo para esta actividad, se tenían en el frente dos excavadoras trabajando, por lo tanto, se procedió a analizar ambas y así obtener una mayor representatividad en la medición. Por lo tanto, la cuadrilla medida estuvo conformada por estas dos excavadoras junto con dos operarios (uno para cada máquina) con el fin de colaborar en el acabado de las excavaciones.

Esta medición se realizó de esta manera ya que el avance de los operarios es el mismo de las máquinas, por lo cual se obtiene el

rendimiento de la actividad como un conjunto. Esto por petición del equipo del proyecto.

En el cuadro 7 se determinan los niveles de actividad para la muestra tomada. En el cuadro 8 se presenta el rendimiento obtenido en el muestreo.

La figura 20 expone de manera gráfica los niveles de actividad para el análisis realizado y en la figura 21 se indica la distribución de estos niveles de actividad en las diferentes tareas que se descompone la misma.

CUADRO 7. NIVELES DE ACTIVIDAD PARA EXCAVACIÓN		
	Mediciones	Porcentaje
TP	132	27%
TC	95	19%
TNC	258	53%
Total	485	100%

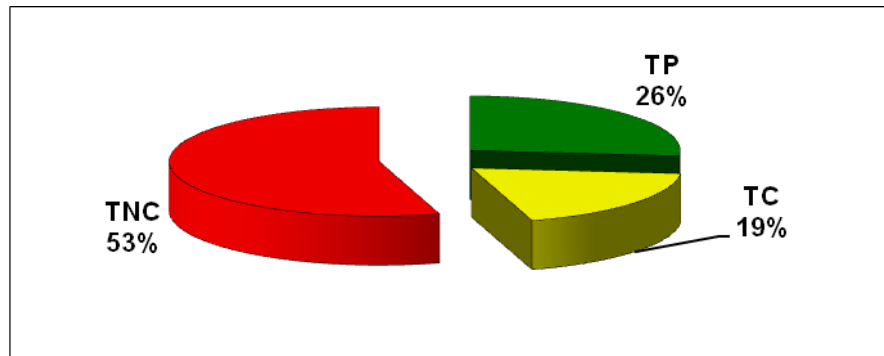


Figura 20. Distribución de los niveles de actividad para la excavación.

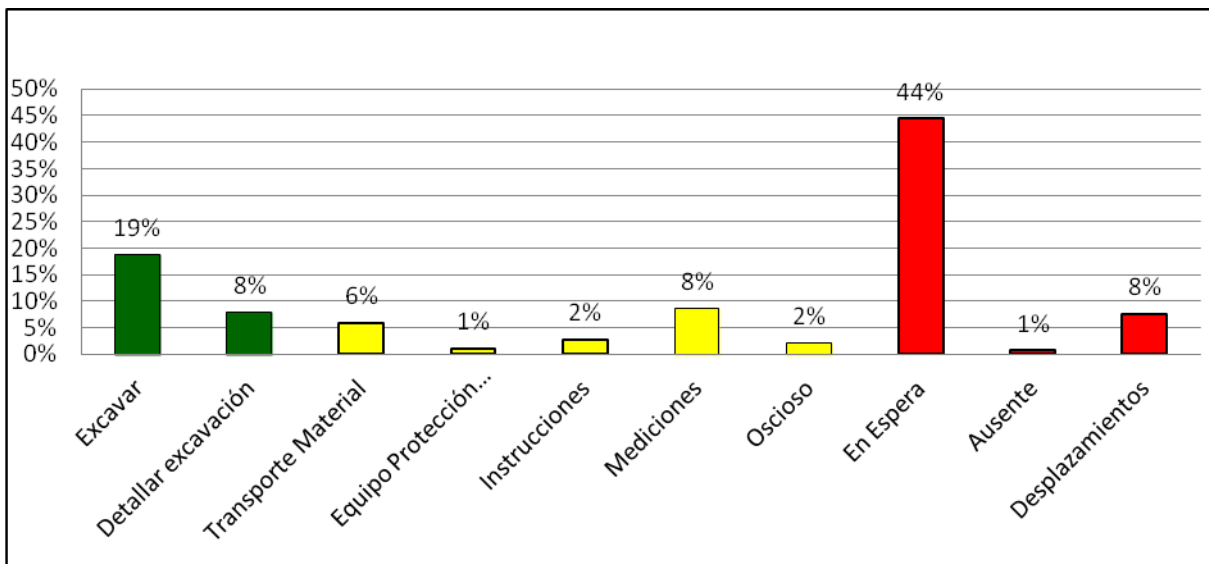


Figura 21. Distribución de actividades para excavación de placas aisladas.

CUADRO 8. RENDIMIENTO PARA LA EXCAVACIÓN DE PLACAS							
Recurso (HH)	Recurso efectivo (HH)	Avance (m3)	Rendimiento AP (HH/m3)	% Actividad observado	Rendimiento proyectado (HH/m3)	Presupuesto (HH/m3)	HH Perdidas
7,00	3,18	78,80	0,09	85%	0,10	1,33	3,82

Montaje placas prefabricadas

Para el montaje de las placas aisladas, siempre se mantenían entre tres y cuatro trabajadores en las maniobras necesarias para alinear el elemento con el trazo previamente realizado por el topógrafo. Esto debido a la dificultad de colocar la placa perfectamente alineada, por motivo de las dimensiones y el peso del elemento.

En el cuadro 9 se expresan los niveles de actividad para la muestra tomada. En el cuadro

10 se presenta el rendimiento obtenido en el muestreo.

La figura 22 registra de manera gráfica los niveles de actividad para el análisis realizado y en la figura 23 se indica la distribución de estos niveles de actividad en las diferentes tareas que se descompone la misma.

CUADRO 9. NIVELES DE ACTIVIDAD PARA MONTAJE DE PLACAS PREFABRICADAS		
	Mediciones	Porcentaje
TP	156	30%
TC	163	31%
TNC	207	39%
Total	526	100%

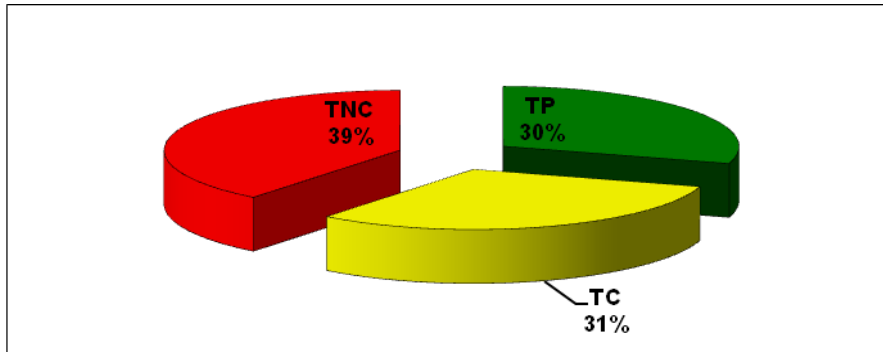


Figura 22. Distribución de los niveles de actividad para el montaje de placas prefabricadas.

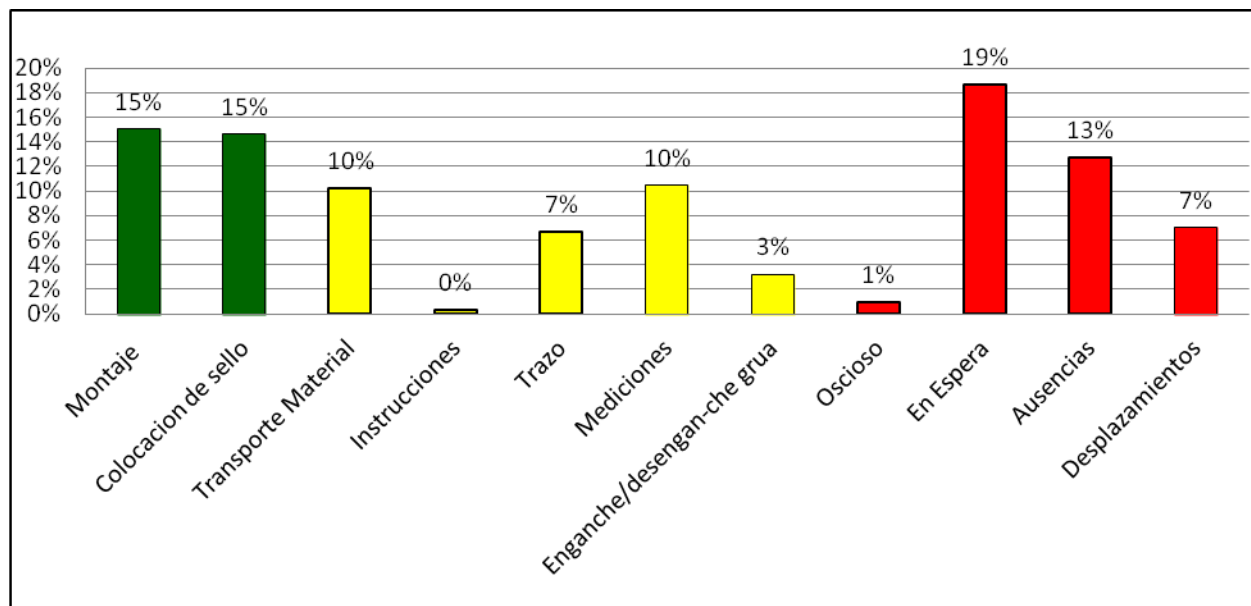


Figura 23. Distribución de actividades para montaje de placas prefabricadas.

CUADRO 10. RENDIMIENTO PARA EL MONTAJE DE PLACAS PREFABRICADAS							
Recurso (HH)	Recurso efectivo (HH)	Avance (unidad)	Rendimiento AP (HH/unid)	% Actividad observado	Rendimiento proyectado (HH/unid)	Presupuesto (HH/m2)	HH Perdidas
9,12	5,53	5,00	2,32	85%	2,73	-	3,59

Formaleta placas en sitio

Esta tarea estaba a cargo de parejas de un carpintero con su ayudante, sin embargo, durante la realización del trazo participaban dos personas más para agilizar el proceso constructivo en esta etapa.

El cuadro 11 señala los niveles de actividad para la muestra tomada. En el cuadro 12 se presenta el rendimiento obtenido en el muestreo.

La figura 24 evidencia de manera gráfica los niveles de actividad para el análisis realizado y en la figura 25 se indica la distribución de estos niveles de actividad en las diferentes tareas que se descompone la misma.

CUADRO 11. NIVELES DE ACTIVIDAD PARA LA FORMAleta DE PLACAS		
	Mediciones	Porcentaje
TP	234	42%
TC	138	25%
TNC	190	34%
Total	562	100%

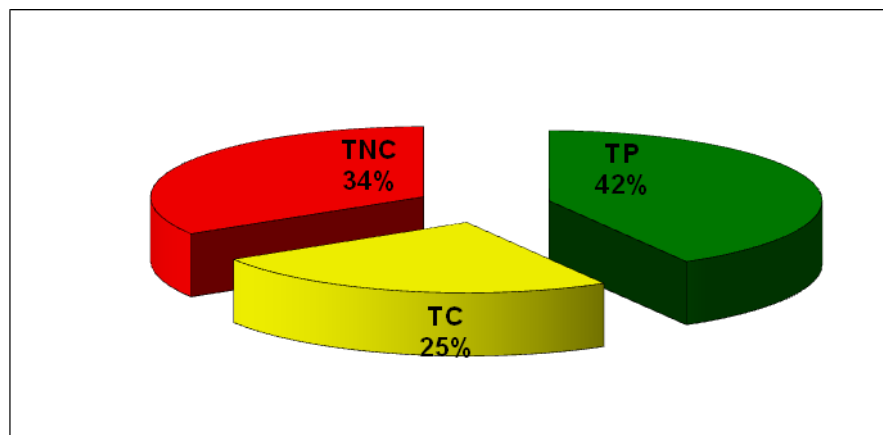


Figura 24. Distribución de los niveles de actividad para la formaleta de placas en sitio.

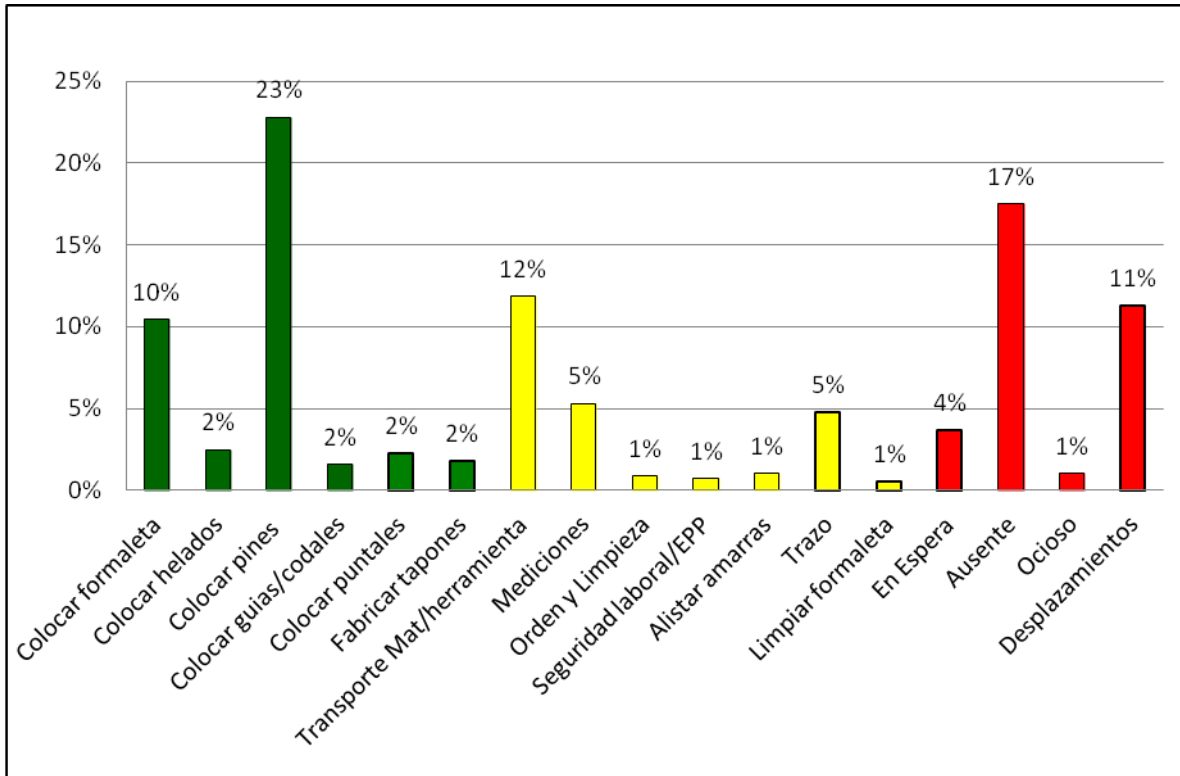


Figura 25. Distribución de actividades para formaleta de placas en sitio.

CUADRO 12. RENDIMIENTO PARA LA FORMALETA DE PLACAS EN SITIO							
Recurso (HH)	Recurso efectivo (HH)	Avance (m2)	Rendimiento AP (HH/m2)	% Actividad observado	Rendimiento proyectado (HH/m2)	Presupuesto (HH/m2)	HH Perdidas
10,60	7,02	19,00	0,56	65%	0,86	0,4	3,58

Colado de placas

Para la realización de esta sub-actividad se utilizaron dos trabajadores de la empresa, y en algunas ocasiones dos ayudantes más, el proceso de colado como tal fue bastante rápido, sin embargo, lo que toma tiempo en esta tarea es el detallado de la placa.

El cuadro 13 señala los niveles de actividad para la muestra tomada. En el cuadro

14 se presenta el rendimiento obtenido en el muestreo.

La figura 26 evidencia de manera gráfica los niveles de actividad para el análisis realizado y en la figura 27 se indica la distribución de estos niveles de actividad en las diferentes tareas que se descompone la misma.

CUADRO 13. NIVELES DE ACTIVIDAD PARA COLADO DE PLACAS		
	Mediciones	Porcentaje
TP	280	73%
TC	37	10%
TNC	68	18%
Total	385	100%

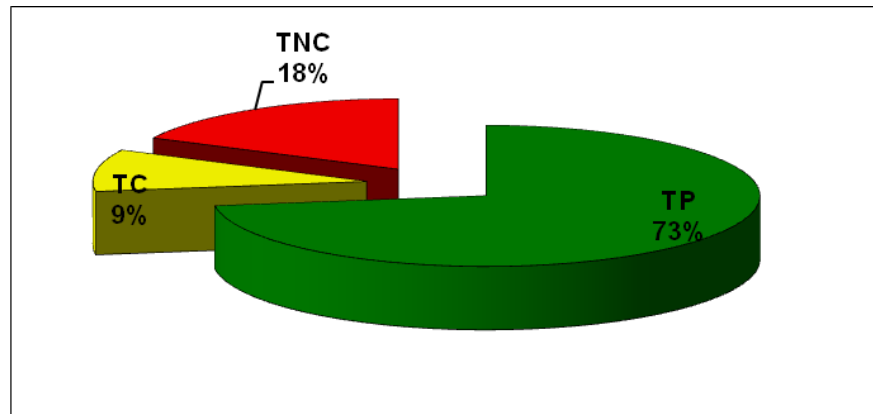


Figura 26. Distribución de los niveles de actividad para el colado de placas en sitio.

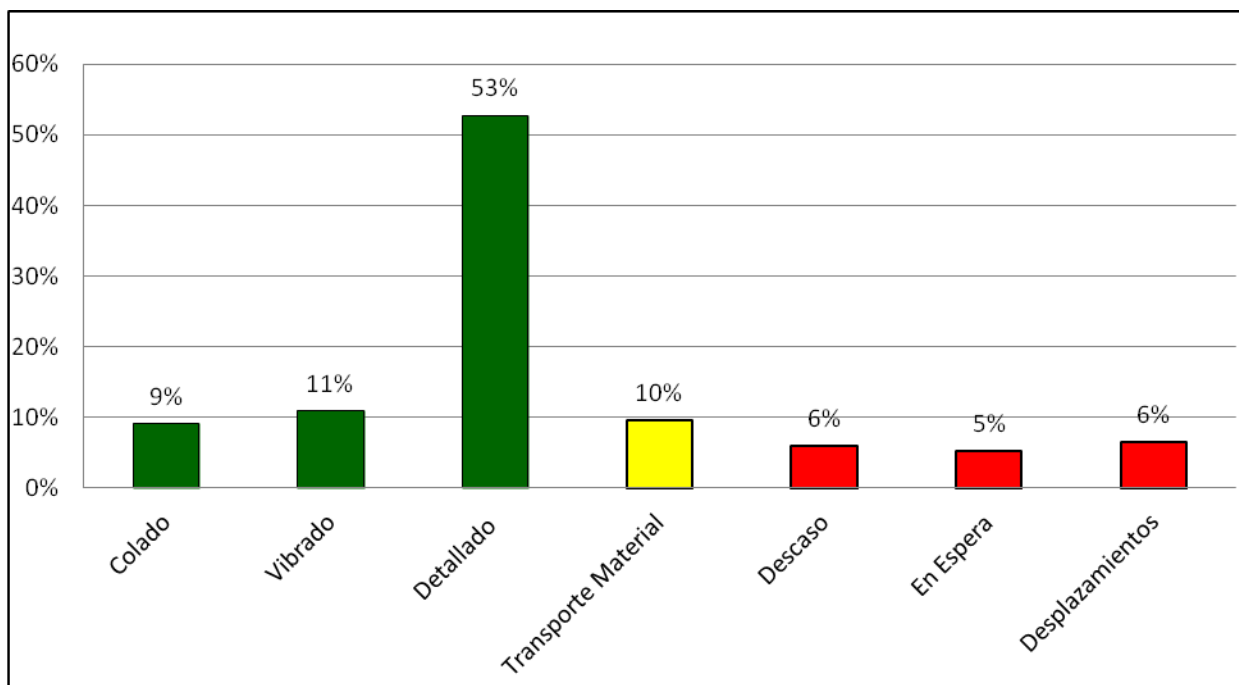


Figura 27. Distribución de actividades para el colado de placas en sitio.

CUADRO 14. RENDIMIENTO PARA EL COLADO DE PLACAS EN SITIO							
Recurso (HH)	Recurso efectivo (HH)	Avance (m3)	Rendimiento AP (HH/m3)	% Actividad observado	Rendimiento proyectado (HH/m3)	Presupuesto (HH/m3)	HH Perdidas
8,80	7,22	17,90	0,49	85%	0,58	0,2	1,58

Formaleta de pedestales

Para todo elemento que se deba encofrar, incluidos los pedestales de la nave principal, se utilizan parejas de trabajadores compuestas por un carpintero y su ayudante.

Durante el muestreo siempre se observó esta condición, sin embargo, al igual que en el caso de la formaleta de placas en sitio, durante la realización del trazo inicial, en algunas ocasiones se sumaban uno o dos trabajadores.

El cuadro 15 expone los niveles de actividad para la muestra tomada. En el cuadro 16 se presenta el rendimiento obtenido en el muestreo.

La figura 28 evidencia de manera gráfica los niveles de actividad para el análisis realizado y en la figura 29 se indica la distribución de estos niveles de actividad en las diferentes tareas que se descompone la misma.

CUADRO 15. NIVELES DE ACTIVIDAD PARA LA FORMAleta DE PEDESTALES		
	Mediciones	Porcentaje
TP	286	49%
TC	146	25%
TNC	151	26%
Total	583	100%

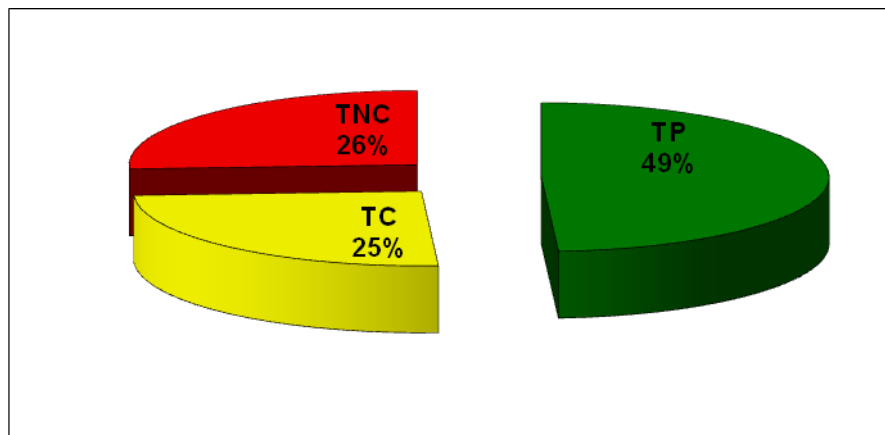


Figura 28. Distribución de los niveles de actividad para la formaleta de pedestales.

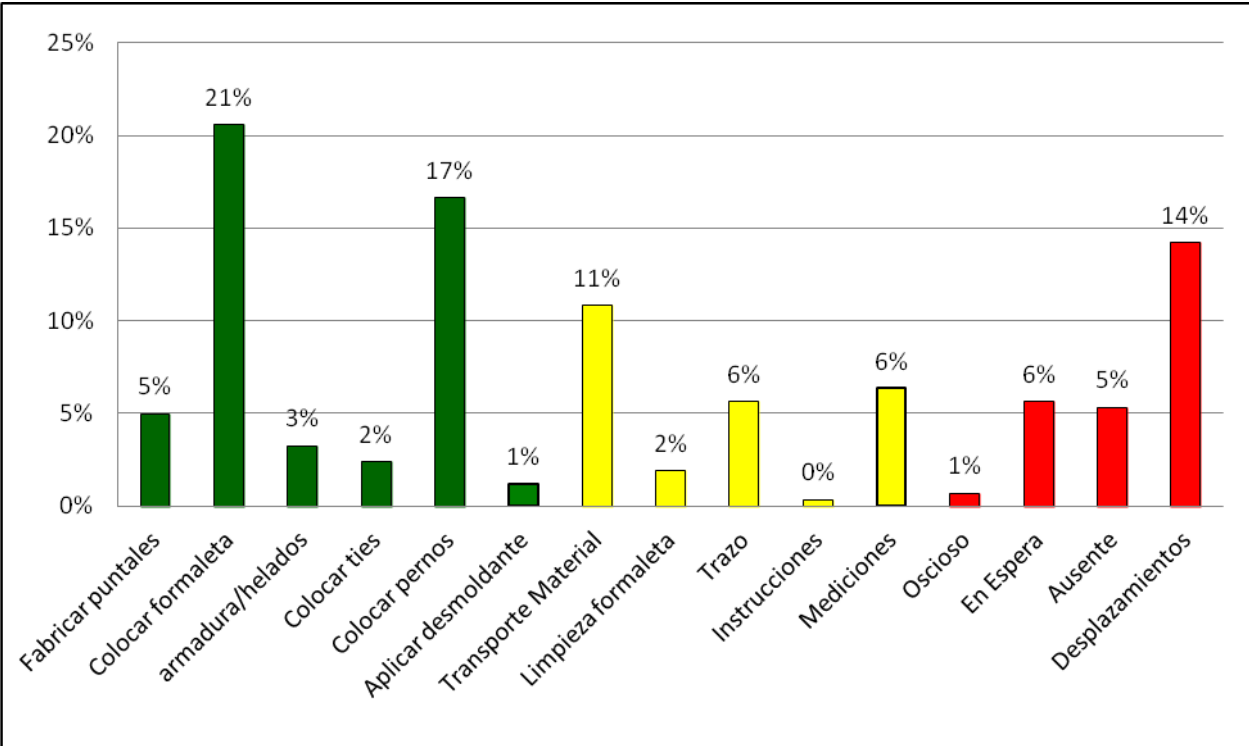


Figura 29. Distribución de actividades para la formaleta de pedestales.

CUADRO 16. RENDIMIENTO PARA LA FORMAleta DE PEDESTALES							
Recurso (HH)	Recurso efectivo (HH)	Avance (m2)	Rendimiento AP (HH/m2)	% Actividad observado	Rendimiento proyectado (HH/m2)	Presupuesto (HH/m2)	HH Perdidas
16,90	12,52	13,20	1,28	85%	1,5	0,35	4,38

Muro de retención

Esta actividad tiene semejanza a la pega de bloques en cuanto a que el trabajo se concentró en un solo lugar, es decir, no se vio tanto movimiento de personal ni de maquinaria como se pudo observar en el caso de las placas aisladas. Por lo cual, el trabajo en campo se facilitó.

Sin embargo, es importante mencionar que la duración de la actividad fue corta ya que

los carpinteros tenían bastante experiencia y se les facilitó la labor.

De la misma manera que en la actividad de placas aisladas, se muestran los resultados obtenidos de manera individual para cada una de las sub-actividades que se compone el muro de retención.

Formaleta de muro de retención

Durante el proceso de encofre se utilizaron tres parejas de trabajadores conformadas por carpinteros junto con sus ayudantes. Además habían dos peones encargados de colaborar en el momento que lo requirieran los operarios. Para

este análisis se observaron a dos de estas tres parejas y se mostrará la información para cada una de ellas y un resumen global de los datos obtenidos.

Pareja 1

En el cuadro 17 se señalan los niveles de actividad para la muestra tomada. En el cuadro 18 se presenta el rendimiento obtenido en el muestreo.

La figura 30 evidencia de manera gráfica los niveles de actividad para el análisis realizado y en la figura 31 se indica la distribución de estos niveles de actividad en las diferentes tareas que se descompone la misma.

CUADRO 17. NIVELES DE ACTIVIDAD PARA LA FORMAleta DEL MURO DE RETENCIÓN (PAREJA 1)		
	Mediciones	Porcentaje
TP	356	53%
TC	182	27%
TNC	140	21%
Total	678	100%

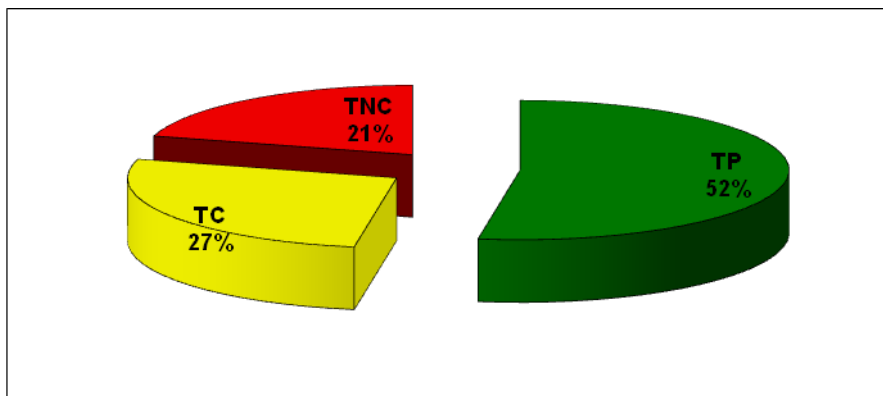


Figura 30. Distribución de los niveles de actividad para la formaleta del muro de retención (Pareja 1).

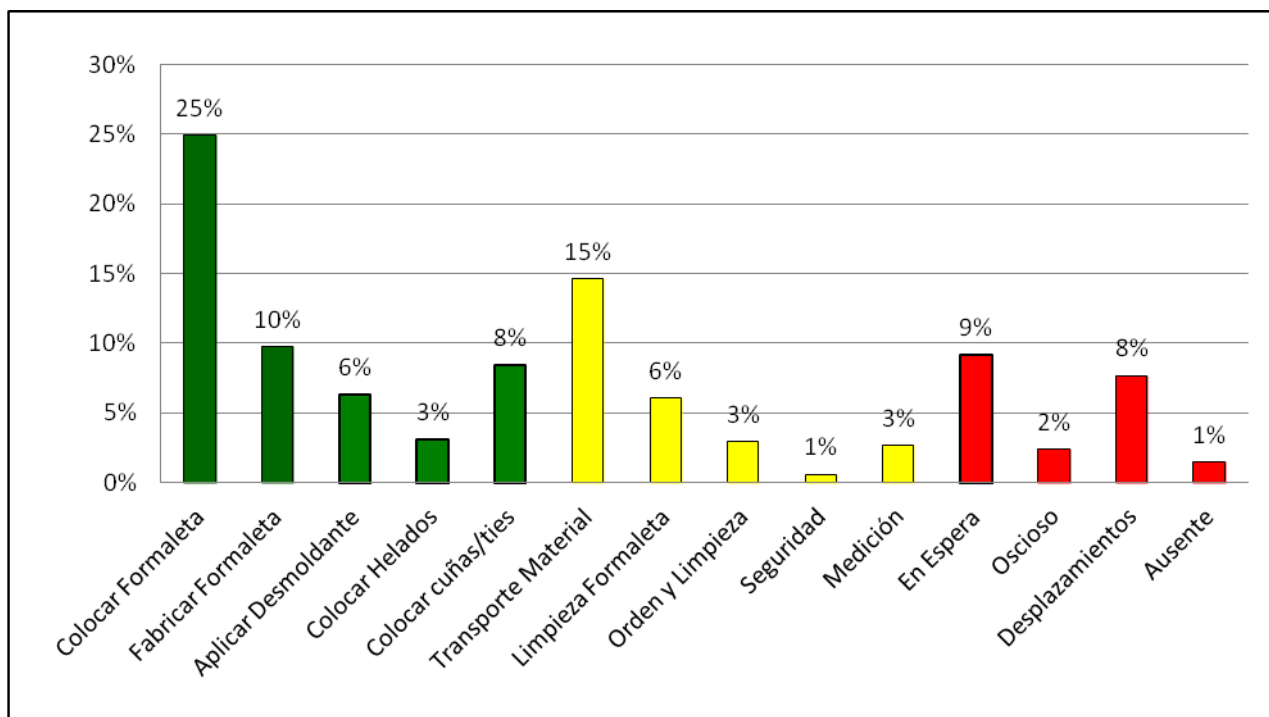


Figura 31. Distribución de actividades para la formaleta del muro de retención (Pareja 1).

CUADRO 18. RENDIMIENTO PARA LA FORMALETA DEL MURO DE RETENCIÓN (PAREJA 1)

Recurso (HH)	Recurso efectivo (HH)	Avance (m2)	Rendimiento o AP (HH/m2)	% Actividad observado	Rendimiento proyectado (HH/m2)	Presupuesto (HH/m2)	HH Perdidas
15,00	11,90	25,00	0,60	85%	0,7	0,3	3,10

Pareja 2

En el cuadro 19 se exponen los niveles de actividad para la muestra tomada. En el cuadro 20 se presenta el rendimiento obtenido en el muestreo.

La figura 32 muestra de manera gráfica los niveles de actividad para el análisis realizado y en la figura 33 se indica la distribución de estos niveles de actividad en las diferentes tareas que se descompone la misma.

CUADRO 19. NIVELES DE ACTIVIDAD PARA LA FORMALETA DEL MURO DE RETENCIÓN (PAREJA 2)

	Mediciones	Porcentaje
TP	338	55%
TC	130	21%
TNC	145	24%
Total	613	100%

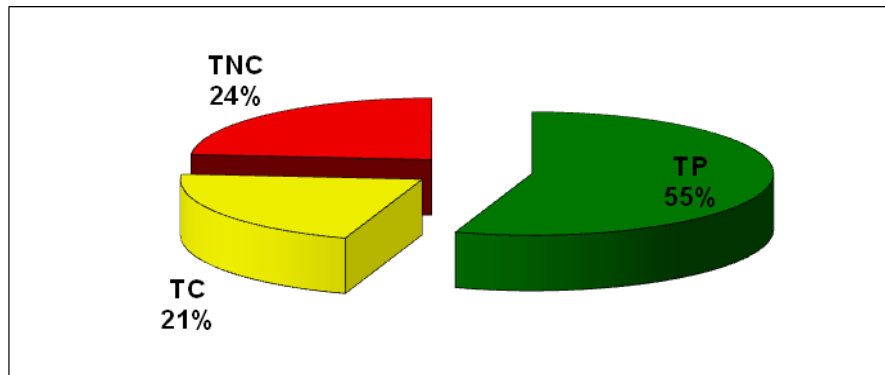


Figura 32. Distribución de los niveles de actividad para la formaleta del muro de retención (Pareja 2).

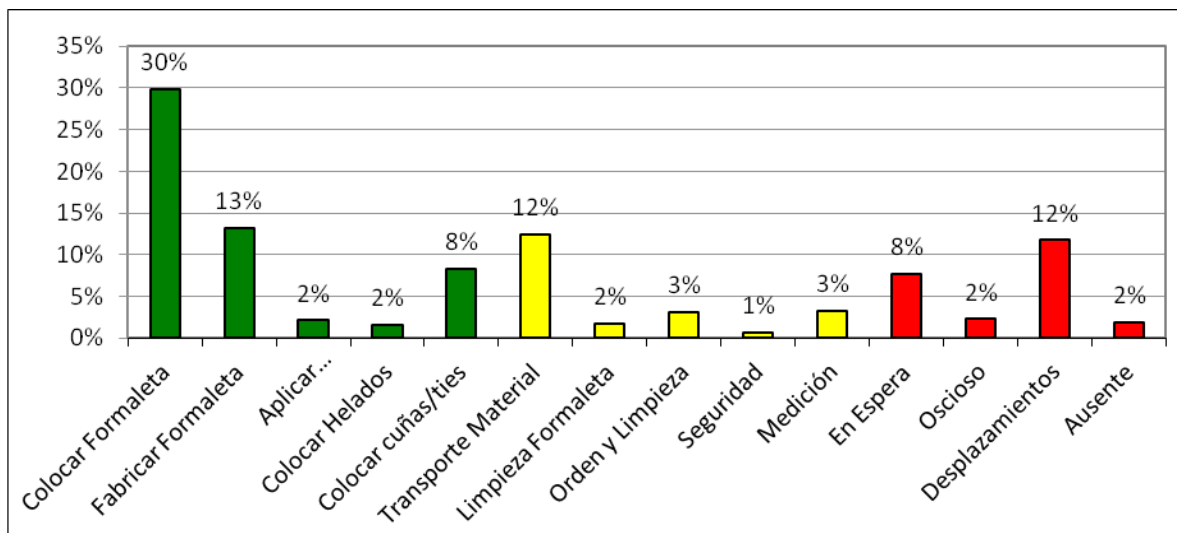


Figura 33. Distribución de actividades para la formaleta del muro de retención (Pareja 2).

CUADRO 20. RENDIMIENTO PARA LA FORMALETA DEL MURO DE RETENCIÓN (PAREJA 2)							
Recurso (HH)	Recurso efectivo (HH)	Avance (m2)	Rendimiento AP (HH/m2)	% Actividad observado	Rendimiento proyectado (HH/m2)	Presupuesto (HH/m2)	HH Perdidas
15,00	11,45	15,50	0,97	85%	1,14	0,3	3,55

Resumen global

A continuación se señala un resumen del análisis realizado para esta actividad y de esta forma aproximar de manera representativa la productividad y rendimiento de la mano de obra de la empresa, en cuanto al proceso de encofrado de muros de retención.

En el cuadro 21 se determinan los niveles de actividad para la muestra tomada. En el

cuadro 22 se presenta el rendimiento obtenido en el muestreo.

La figura 34 señala de manera gráfica los niveles de actividad para el análisis realizado y en la figura 35 se indica la distribución de estos niveles de actividad en las diferentes tareas que se descompone la misma.

CUADRO 21. NIVELES DE ACTIVIDAD GLOBAL PARA FORMAleta DE MURO DE RETENCIÓN		
	Mediciones	Porcentaje
TP	694	54%
TC	312	24%
TNC	285	22%
Total	1291	100%

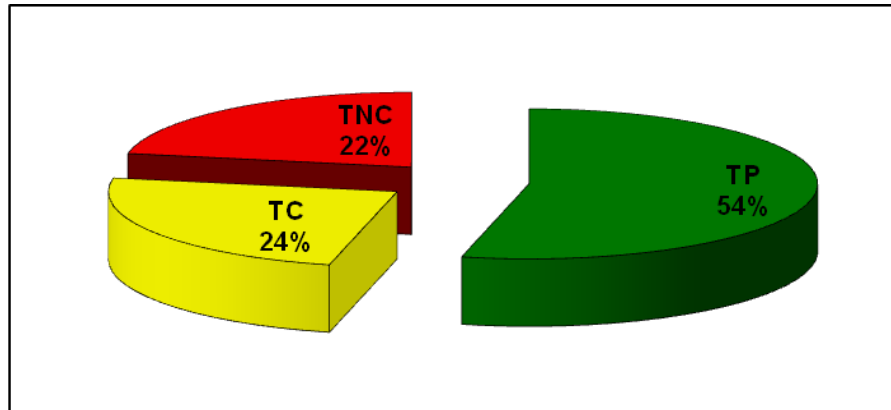


Figura 34. Distribución de niveles de actividad global para la formaleta de muro de retención.

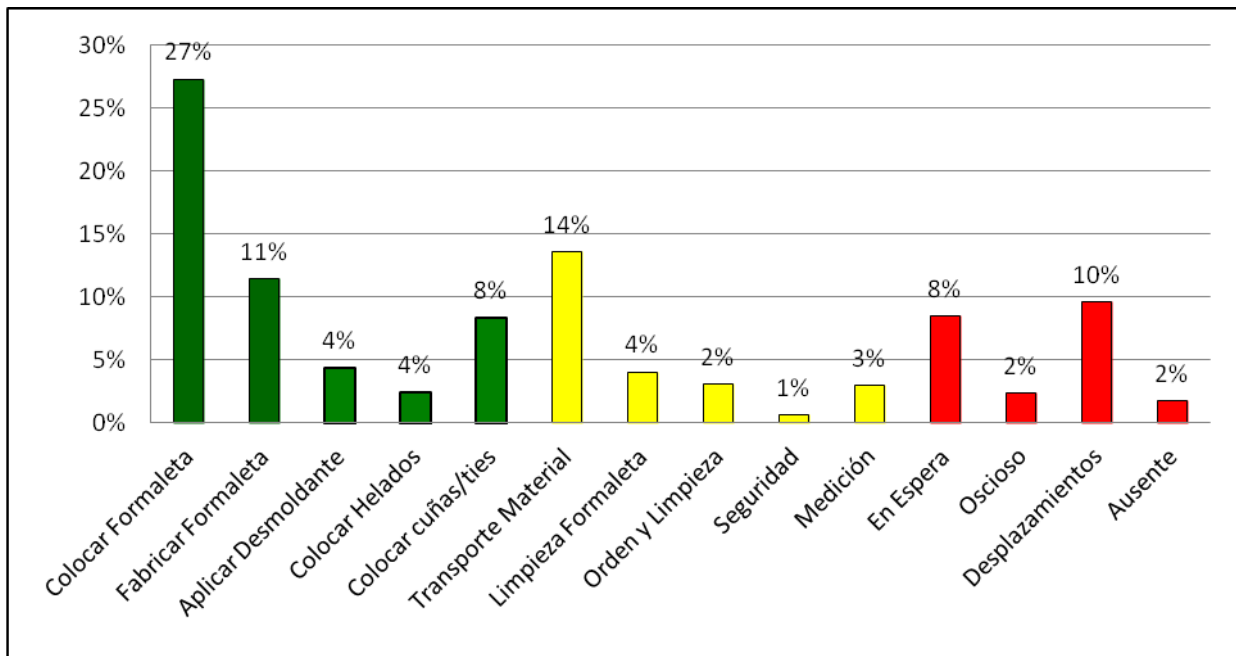


Figura 35. Distribución de actividades global para la formaleta de muro de retención.

CUADRO 22. RENDIMIENTO GLOBAL PARA LA FORMAleta DE MURO DE RETENCIÓN							
Recurso (HH)	Recurso efectivo (HH)	Avance (m2)	Rendimiento AP (HH/m2)	% Actividad observado	Rendimiento proyectado (HH/m2)	Presupuesto (HH/m2)	HH Perdidas
54,00	35,07	40,50	1,33	85%	1,55	0,3	9,93

Colado muro de retención

Durante la chorrea del muro se utilizaron un total de 7 trabajadores, de los cuales 4 se observaron durante el muestreo completo y los restantes 3 se sumaron a la actividad 30 min después de iniciada la misma.

Además se usó un mini cargador para transportar el concreto del camión mezclador hasta el frente de trabajo. Se debe mencionar que durante lapsos del proceso, para colocar el concreto se utilizaron palas y en otros baldes plásticos.

En el cuadro 23 se exponen los niveles de actividad para la muestra tomada. En el cuadro 24 se presenta el rendimiento obtenido en el muestreo.

La figura 36 muestra de manera gráfica los niveles de actividad para el análisis realizado y en la figura 37 se indica la distribución de estos niveles de actividad en las diferentes tareas que se descompone la misma.

CUADRO 23. NIVELES DE ACTIVIDAD PARA EL COLADO DEL MURO DE RETENCIÓN		
	Mediciones	Porcentaje
TP	297	55%
TC	39	7%
TNC	204	38%
Total	540	100%

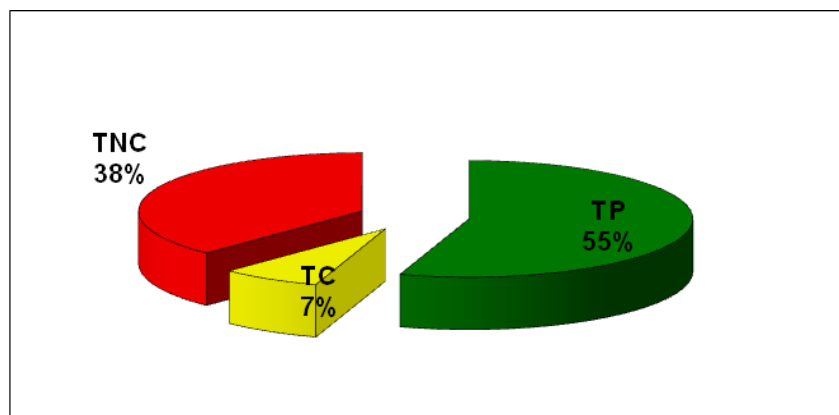


Figura 36. Distribución de niveles de actividad para el colado del muro de retención.

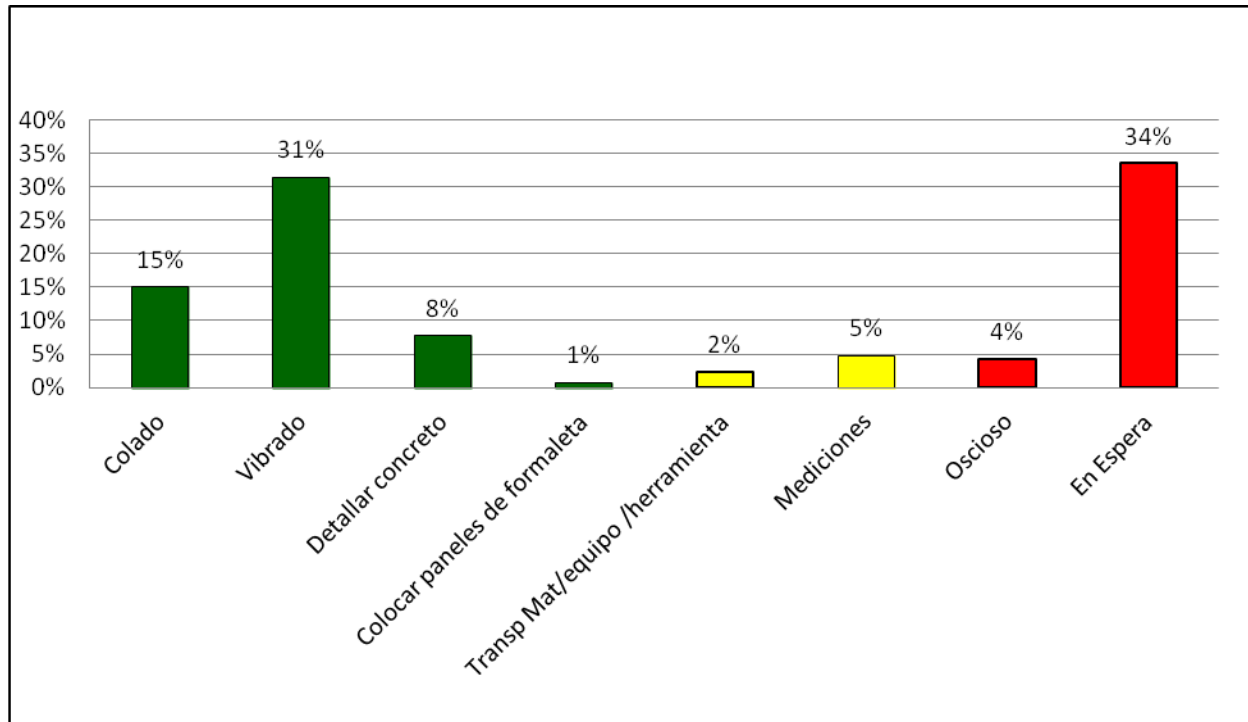


Figura 37. Distribución de actividades para el colado del muro de retención.

CUADRO 24. RENDIMIENTO PARA EL COLADO DEL MURO DE RETENCIÓN							
Recurso (HH)	Recurso efectivo (HH)	Avance (m3)	Rendimiento AP (HH/m3)	% Actividad observado	Rendimiento proyectado (HH/m3)	Presupuesto (HH/m3)	HH Perdidas
5,00	5,60	7,75	0,64	80%	0,81	0,13	1,90

Presupuesto y Costos

En el cuadro 25 se expresa la comparación entre los rendimientos presupuestados y los rendimientos reales obtenidos a partir del estudio. Además se evidencian los precios unitarios presupuestados por la empresa constructora.

Asimismo, en la figura 38 se muestra de manera gráfica la comparación entre los

rendimientos obtenidos en el estudio y los establecidos en el proceso licitatorio.

Finalmente, en el cuadro 26 se indica el costo en dinero que implica la cantidad de horas perdidas que se pudieron detectar durante la realización del análisis de productividad y por ende el ahorro que implicaría si se mejoraran los procesos constructivos.

CUADRO 25. RENDIMIENTOS Y COSTOS PRESUPUESTADOS			
Actividad	Rendimiento Presupuesto	Rendimiento Estudio	Costo Unitario Presupuestado (€/hr)
Formaleta Muro	0,3 hr/m2	1,33 hr/m2	6320
Formaleta Placas	0,4 hr/m2	0,56 hr/m2	4787
Formaleta Pedestales	0,33 hr/m2	1,28 hr/m2	5745
Colado Muros	0,13 hr/m3	0,64hr/m3	14362
Colado Placas	0,2 hr/m3	0,49 hr/m3	9575
Excavación	0,75 hr/m3	0,09 hr/m3	1436
Pega Bloques	0,22 hr/m2	4,12 hr/m2	45003

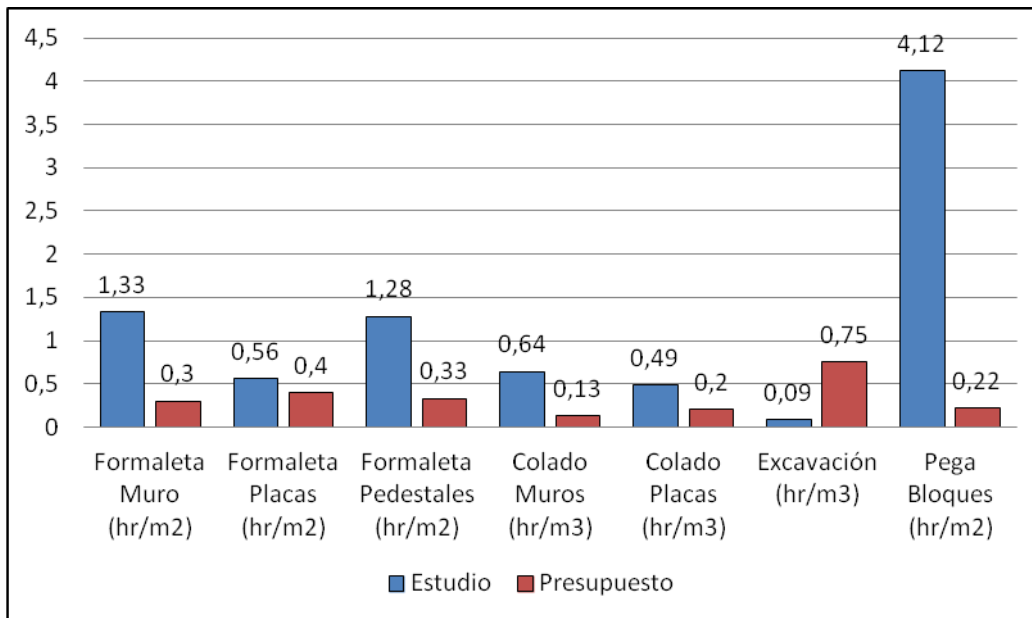


Figura 38. Comparativa entre el rendimiento presupuestado y el obtenido en el estudio.

CUADRO 26. COSTO DE HORAS PERDIDAS POR TRABAJO NO CONTRIBUTIVO				
Actividad	Horas Muestreo	Horas perdidas	Porcentaje horas perdidas	Costo (€)
Formaleta Muro	54,00	9,93	18,39%	62.757,60
Formaleta Placas	19,72	7,17	36,36%	34.322,79
Formaleta Pedestales	16,90	4,38	25,92%	25.163,10
Colado Muro	5,00	1,90	38,00%	27.287,80
Colado Placas	8,80	1,58	17,95%	15.128,50
Excavación	7,00	3,82	54,57%	5.485,52
Pega Bloques	112,00	24,64	22,00%	1.108.883,78

Análisis de los resultados

Pega de bloques de mampostería

Productividad

Mano de obra propia de la empresa

La ejecución de la pega de bloques sisados, requiere de muchas mediciones y constantes supervisiones para verificar que se esté cumpliendo con las especificaciones técnicas en lo que respecta a esta actividad.

En el frente de trabajo siempre se disponía de una tarima de bloques para que se utilizaran cuando fuera necesario, sin embargo, en reiteradas ocasiones se presentaban desplazamientos y ausencias de los trabajadores debido a que los bloques no podían ser utilizados por su mala calidad.

Además, se presentaron atrasos importantes debido a la lentitud con que se cortaban los bloques que se utilizaban para terminar cada una de las hiladas de la pared, esto porque el obrero designado como cortador de bloques no realizaba ningún trabajo sino hasta que llegaran a pedirle un corte en específico, lo cual provocaba mucha espera en el albañil.

Otro de los factores que perjudicó de manera significativa la productividad durante el muestreo realizado fue la gran cantidad de transporte de materiales o herramientas necesarias para llevar a cabo las labores diarias, esto se puede observar en la figura 17.

Esta gran cantidad de transporte se generó ya que en la mayoría de las veces, no se tenía a mano los materiales o herramientas, por descuido de los operarios y sus ayudantes y por lo tanto, cada vez que se necesitaban, se generaban retrasos por las constantes búsquedas, desplazamientos y transporte de los mismos. Estos transportes según la figura 17

implican un 11% de la medición realizada y por ende corresponden a 6,16 horas que podrían aprovecharse en trabajos productivos para la actividad.

Asimismo, el procedimiento a seguir por parte de los ayudantes a la hora de sisar los bloques no era el idóneo en lo que respecta a tiempo de ejecución, ya que una vez colocada cada hilada se procedía con esta tarea estando el mortero de pega todavía fresco, lo cual generaba que al estar este material en un estado viscoso (que es el ideal para realizar la pega de los bloques) constantemente debían detener la labor para limpiar los sisadores y poder continuar. Además se debían devolver a limpiar cada uno de los bloques por el gran pringue que se generaba al realizar este trabajo en estas condiciones, ya que al ser bloques expuestos, la inspección no permitía manchas de mortero en los mismos.

Este proceso erróneo de sisado provocó un tiempo contributivo de limpieza del bloque de 9,5% del total de la medición realizada, lo que corresponde a 10,64 horas del total de 112 horas del muestreo.

También existían atrasos generados por el transporte de las varillas para realizar los empalmes ya que no se avisaba con tiempo a los armadores que se necesitaban las mismas, esto generaba constantes esperas sin poder avanzar en la pega de bloques, además de gran tiempo perdido debido a que los mismos trabajadores eran los que debían transportar el acero desde el taller de armado que estaba aproximadamente 50m hasta el frente de trabajo.

Otro de los grandes retrasos que se tuvieron durante la elaboración de esta actividad, es que al no estar las paredes de mampostería moduladas, los completamientos de las paredes quedaban con cortes poco usuales y difíciles de ejecutar, aparte de que la realización de estos quedaban a criterio del albañil por lo cual se generaron gran cantidad de retrasos por tantas mediciones y esperas mientras se ejecutaban estos complicados cortes a los bloques de mampostería.

Asimismo, se pudo percibir que cuando se colocaban andamios, el rendimiento bajaba puesto que los trabajadores presentaban una indisposición a esta labor y por tanto, tardaban mucho trasladando los mismos desde la bodega hasta el frente de trabajo y posteriormente en la pega de las siguientes hiladas.

Por último, se observó cómo en reiteradas ocasiones bajaron hiladas debido a que no cumplían con la aceptación del ancho de la sisa, lo que se refleja en los rendimientos mostrados y evidencia una mala calidad en la mano de obra.

A pesar de lo citado, la figura 16 muestra que la productividad de la empresa en esta actividad no es del todo mala, ya que el trabajo productivo alcanza un 51% lo que implica que se esta únicamente un 9% por debajo del ideal para la industria de la construcción según Serpell¹⁵.

Esto fortalece la idea de que la mano de obra contratada no es ociosa o poco productiva, pero tampoco está calificada para realizar esta labor.

Todo esto se debe a que al ser la pega de bloques sisados una actividad poco usual en la industria, la mano de obra no tiene la experiencia necesaria para avanzar rápidamente con el levantamiento de las paredes y cumplir así con los altos estándares de calidad exigidos por la inspección del proyecto.

Mano de obra subcontratada

De la misma manera que en la mano de obra propia de la empresa, se ejecutaron constantes mediciones y supervisiones para cumplir con las exigencias pedidas por la inspección del proyecto.

También se contaban con tarimas de bloques cerca del frente de trabajo para agilizar la labor, además, a diferencia de lo observado en el muestreo a la empresa, los subcontratistas tenían todas las herramientas y materiales siempre cerca y listos para usarse cuando se necesitaran.

Otro de los factores que influye en el tiempo productivo de la actividad, fue que de igual forma que en el caso de la empresa, no se tenían las paredes de mampostería moduladas y por lo tanto se perdía tiempo realizando las mediciones para obtener los completamientos de

las paredes y sumado a esto todo el tiempo perdido en espera de que el cortador realizara estos trabajos, pudiendo estar los mismos previamente cortados para continuar con la pega de los bloques.

El factor de mayor importancia que incidió en la baja productividad de los subcontratistas fue la cantidad de tiempo en espera por parte de los ayudantes, ya que no les indicaban otra actividad ni ellos tenían la iniciativa de realizar otra labor, lo que implicaba un gran tiempo ocioso por parte de la cuadrilla entera.

Además en reiteradas ocasiones los albañiles junto con sus ayudantes detenían sus labores para conversar y darse bromas, lo cual repercutió considerablemente en los resultados obtenidos ya que sin ninguna justificación paralizaban las operaciones y por ende las metas diarias para esta actividad no se cumplían. Lo anterior se muestra en la figura 18, donde se evidencia que del muestreo realizado un 32% es trabajo no contributivo y más específicamente en la figura 19 se indica que el 16,10% del tiempo se estaba en esperas y el 7,70%, los trabajadores se encontraban en tiempo ocioso, lo que representa 21,9 horas del total del muestreo, por lo que es bastante representativo.

Otro de los factores encontrados fue la gran cantidad de ausencias de los ayudantes en el frente de trabajo debido al transporte de varillas de refuerzo desde la bodega hasta el frente, sin embargo, el impacto de estas ausencias para los subcontratistas fue menor que en el caso de la mano de obra propia de la empresa, ya que los primeros coordinaban con la bodega de manera anticipada y no tenían tantas demoras en la espera del material.

Este factor de trabajo no contributivo representa un 6,70% del tiempo total del muestreo, lo que equivale a 6,16 horas perdidas por estas ausencias.

Por último, de igual forma que la mano de obra propia de la empresa, los trabajadores del subcontrato no se sentían conformes con la ejecución del andamiaje para trabajar en altura y lo realizaban de forma indispuesta, por lo tanto, su productividad bajaba considerablemente.

Este factor se encuentra considerado en la figura 19 dentro del rango de tiempo ocioso ya que al realizar este trabajo también perdían su tiempo para no avanzar.

¹⁵ Serpell, A. (2002). Administración de operaciones de construcción (2ª ed.). México: Alfaomega.

Rendimiento

Mano de obra propia de la empresa

Como se pudo analizar anteriormente, se encontraron muchos factores que influyen de manera desfavorable en la productividad de la mano de obra y al mismo tiempo impacta en forma directa en el rendimiento obtenido.

Concentrándose únicamente en la mano de obra propia de la empresa, al observar el cuadro 2, se distingue que el rendimiento de las cuadrillas no es alentador ya que presentan una proyección de 5,15HH/m², lo que equivale para este caso, a 5,15 horas para pegar un aproximado de 12,5 bloques si se tuviera un solo albañil ejecutando esta labor.

En este cuadro también se observa que la desviación estándar obtenida posee un valor de 1,15HH/m², lo que indica que la actividad es intermitente y muy difícil de predecir el rendimiento real de la mano de obra, ya que durante algunos días se mantiene relativamente bueno alcanzando valores por debajo de las 4HH/m² mientras que en otros días se tienen valores por encima de las 6,3HH/m².

De la misma manera, en el cuadro 3 se puede notar que los rendimientos mostrados por las cuadrillas varían drásticamente pasando de 4,33HH/m² durante horas de la mañana a 5,42HH/m² en el periodo de la tarde, evidenciando una disminución en el rendimiento de prácticamente 1HH/m².

Al mismo tiempo, en el cuadro 3 se puede observar que las desviaciones estándar son considerables tanto en el periodo de la mañana como en el de la tarde, lo cual refuerza la idea de que el pronóstico de la producción humana en la construcción es bastante difícil de acertar.

Sin embargo, a pesar de que el rendimiento es mejor en la mañana, la variación de los datos es mayor que en las tardes, por lo cual la incertidumbre de la información arrojada por el estudio es mayor durante el bloque temprano de trabajo y por lo tanto puede darse el caso de que existan días en que el rendimiento durante las mañanas sea superior que en las tardes.

Dicho de otra manera, la variabilidad del rendimiento para las cuadrillas de pega de bloques propias de la empresa constructora, es bastante alta en horas de la mañana en

comparación con el rendimiento mostrado durante la tarde, el cual se mantiene más constante.

Esta variación de rendimientos en la mañana puede deberse a la motivación que tienen los empleados por el método de pago de su salario, ya que si superan las metas diarias puestas a los trabajadores, estos reciben extras en su salario base, por esto, muchas veces llegaban motivados para superar esas metas durante los periodos de la mañana.

Sin embargo, de la misma forma que en algunas ocasiones llegaban con tal motivación, otros días, al no cumplir con sus metas, los dominaba la frustración y por lo tanto, bajaban su rendimiento, conformándose con su salario base y por ende perjudicando el avance del proyecto.

Además, como ya se mencionó, aunque los rendimientos en horas de la tarde fueron mayores, su variación respecto a la media fue menor y esto se puede deber a que junto con los factores ya mencionados, la frustración de no cumplir las metas diarias fue una constante en los periodos de las tardes por lo cual siempre se mantuvo un rendimiento más bajo y un poco más constante, a diferencia de los cambios de motivación tan considerables mostrados durante las mañanas.

Por otro lado, se puede deducir que el decrecimiento en el rendimiento de las cuadrillas se debe al cansancio acumulado por todas las horas de labor bajo temperaturas promedio de operación de aproximadamente 30°C, lo cual genera un desgaste por deshidratación y pérdida de energía en los trabajadores.

Sumado a ello una deficiente planeación por parte de los encargados de obra para subsanar las necesidades de materiales, equipo o herramientas para los albañiles pudo afectar de manera significativa los rendimientos mostrados por las cuadrillas de pega de bloques, ya que al no planificarse con antelación la logística de entrega de recursos necesarios para cumplir con las metas diarias, estos se agotaban al finalizar los periodos de la mañana y por lo tanto, se generaron tiempos “muertos” durante las tardes en donde la producción fue nula mientras se buscaba la manera de conseguir, ya fueran los materiales o los equipos necesarios para continuar la labor.

Mano de obra subcontratada

En el cuadro 5 se indica que el rendimiento obtenido para la mano de obra subcontratada es un poco mejor, consiguiendo en promedio una proyección de 4,10HH/m².

Además, en el mismo cuadro se observa que la desviación estándar para la muestra tomada es de 1,26HH/m² lo cual revela la incertidumbre que existe en la actividad ya que este rendimiento alcanzó variaciones de hasta 7HH/m² entre días y cuadrillas en algunos de las fechas de muestreo.

En el cuadro 6 se evidencia un detrimento del rendimiento de la cuadrilla, pasando de 4,06HH/m² en el periodo de la mañana a 5HH/m² para el bloque laboral de la tarde, disminuyendo el rendimiento en aproximadamente 1HH/m², misma disminución en la tasa de producción que presenta la mano de obra propia de la empresa.

Asimismo, el cuadro 6 revela la variabilidad de los datos obtenidos por medio de la desviación estándar y por tanto el rango de fluctuación de los mismos. Estos datos nos muestran como la inconstancia en los rendimientos es inversa en comparación con la mano de obra propia de la empresa, esto porque se puede observar que en el periodo de la mañana se obtiene una desviación de 0,81HH/m² mientras que en el bloque de la tarde se tiene que la desviación de datos corresponde a 2,24HH/m².

Por otra parte, se puede analizar que la disminución en el rendimiento durante las horas de la tarde es resultado de factores que no se pueden controlar como lo es el cansancio de los trabajadores después de laborar durante la mañana a temperaturas muy altas.

De manera general, el rendimiento obtenido no alcanzó valores más satisfactorios por causa de los factores mencionados en el análisis de productividad y por las condiciones ambientales que agotaron a los trabajadores de las cuadrillas.

Comparativa contra el subcontratista

Al observar los rendimientos obtenidos tanto de la mano de obra propia de la empresa como de la subcontratada, indicados en los cuadros 2 y 5

respectivamente, se puede notar que la diferencia entre ambas partes es de 1,05HH/m².

Junto con esto, en las figuras 16 y 18 se indica que el trabajo no contributivo para la mano de obra propia de la empresa y la mano de obra subcontratada es de 22% y 32% respectivamente, lo que implica una diferencia de trabajo no productivo del 10%.

Esto indica que aunque la productividad de la mano de obra propia de la empresa es mayor que la subcontratada, esta diferencia es pequeña. Tomando en cuenta que el porcentaje de tiempo ocioso de la mano de obra subcontratada es considerablemente alta, al realizar un análisis cualitativo se puede razonar que si el flujo de trabajo de la cuadrilla subcontratada se perfeccionara y se eliminaran tantos periodos "muertos", por concepto de tiempos ociosos de los trabajadores y esperas innecesarias, la tasa de producción de esta cuadrilla sería aún mucho mejor.

Por lo tanto, se puede deducir de forma clara que la mano de obra subcontratada es de mejor calidad, pues aunque pasan ociosos o en espera durante un gran porcentaje de su periodo laboral, cuando están realizando trabajos productivos lo ejecutan de una manera ágil y con la calidad requerida por las especificaciones técnicas, mientras que la mano de obra propia de la empresa, a pesar de ser más productiva no son eficientes puesto que se gasta mucho recurso para realizar avances mínimos.

Adicional a esta mejor calidad de la mano de obra subcontratada, se añade que la coordinación para el pedido de los materiales y equipos necesarios para sus trabajos era más eficiente, debido a que estos recursos se solicitaban con anticipación para eliminar los tiempos no contributivos o que fueran lo mínimo posible.

Otro de los factores que influyó en el mejor rendimiento del subcontrato que las propias cuadrillas de la empresa fue el proceso de sisado utilizado por los primeros, ya que no debían devolverse a limpiar los bloques por manchas de mortero y por ende se ahorraban este tiempo para seguir avanzando con la pega de bloques.

En general, se puede argumentar que debido a los factores ya mencionados, el rendimiento de la mano de obra subcontratada está mejor calificada para realizar esta actividad.

Placas aisladas

Productividad

Se analizó el proceso completo de placas aisladas en el Módulo 1 del proyecto, el cual corresponde con la nave principal de la obra. Se evaluó la fase de excavación, la maquinaria y sus respectivos ayudantes.

En el montaje de placas prefabricadas se utilizaban entre 3 y 4 trabajadores de acuerdo con la disponibilidad de personal en el momento de realizar la labor.

Para formatear las placas en sitio y pedestales se dispuso de un carpintero con su respectivo ayudante, sin embargo, durante el trazo de estos elementos colaboraban 2 trabajadores más. En la chorrera de placas se necesitó un operario y su ayudante para realizar la tarea completa. El colado de pedestales no se observó debido a la velocidad del proceso (aproximadamente 15 min por pedestal) ya que al ser una actividad tan rápida, no es relevante cuantificar la productividad de la misma.

La excavación de las placas aisladas es la actividad menos productiva de todo el estudio realizado, mostrando porcentajes de trabajo no contributivo del orden del 53% según la figura 20. Esto se debe a los altos tiempos de espera por parte de los operarios cuando la excavadora está ejecutando su trabajo.

También las excavadoras tienen tiempos de espera, ya que las vagonetas deben ser remplazadas cuando ya adquieren su capacidad máxima de almacenamiento.

Por otro lado, se presentan aislados tiempos de espera debido a las mediciones para verificar las dimensiones de la excavación. Es importante recalcar que mientras la excavadora realiza su trabajo se tuvieron hasta 4 trabajadores en espera para detallar la excavación.

Esto se ve reflejado en la figura 21 donde se muestra que de este 53% de trabajo no contributivo, un 44% corresponde a esperas de las maquinarias o por parte de los trabajadores por causa de lo mencionado anteriormente. Este 44% equivale solo para el periodo de muestreo a 3,08 horas perdidas durante la ejecución de esta actividad.

Además, otros factores que influyeron en esta actividad aunque de forma menos significativa fueron los desplazamientos de los

obreros y las mediciones en campo. El primero por la búsqueda de herramientas ya que no las tenían a mano en el momento oportuno y el segundo debido a que las dimensiones de las excavaciones tenían que calzar perfectamente con las mostradas en los planos estructurales.

Ambos factores corresponden individualmente según la figura 21 a un 8% del total de la medición realizada, lo que equivale a 0,56 horas tanto para las mediciones como para los desplazamientos. Sumando estos tiempos no contributivos se tiene que en 7 horas de trabajo se perdieron 1,12 horas.

Para el caso de la formaleta de placas y pedestales, ambas son más productivas que la excavación, la primera actividad según la figura 24 tiene un porcentaje de tiempo contributivo del 42% y la segunda un 49% de acuerdo con la figura 28.

Sin embargo, en ambas actividades no se tenían los materiales y equipos cerca del frente de trabajo lo que se traduce en gran cantidad de desplazamientos, transporte de materiales o equipo y ausencias del frente de trabajo. Los pernos de los pedestales son transportados desde la bodega principal cada vez que son necesitados. Solo se tiene un taller móvil para la fabricación de piezas de formaleta, pero muy alejado.

En general, no se tenía una bodega cerca para suplirse de los materiales o equipos necesarios.

Para el caso de la formaleta de placas en sitio, todos estos transportes y desplazamientos de acuerdo con la figura 25 suman un 40% del total de la medición realizada, descomponiéndose según lo indicado en la misma figura, en un 17% de ausencias, equivalente a 1,8 horas; un 12% en transporte de materiales o equipo equivalente a 1,27 horas y 11% para los desplazamientos realizados por los trabajadores equivalente a 1,17 horas. Por lo tanto, si se suman todos estos tiempos no productivos se tiene que para el muestreo realizado de 10,6 horas, se perdieron 4,24 horas a causa de estos factores, lo que muestra un valor significativo de tiempo que podría aprovecharse en tareas que marquen avances en la obra.

Por otra parte, en el caso de la formaleta de pedestales, la figura 29 muestra que estas mismas ineficiencias contabilizan un total de 30% de la medición realizada, dividiéndose en 14% de desplazamientos equivalente a 2,37 horas, 11% en transporte de materiales o equipo correspondiente a 1,86 horas y un 5% de

ausencias que equivale a 0,85 horas, lo cual suma un total de 5,08 horas para una medición de 16,9 horas. Por esto se puede observar la necesidad de buscar mejoras en el proceso constructivo y reducir esta cantidad de horas perdidas.

En el caso del montaje de placas prefabricadas, normalmente el proceso es rápido, sin embargo, en algunas ocasiones se presentaban demoras ya que las cuerdas del trazo eran constantemente cortadas por la maquinaria que transitaba por el lugar, lo que implicaba volver a realizar el trabajo. Además, se tenían constantes esperas por falta de material para colocar el sello de la fundación. Estos factores, según lo muestra la figura 22, provocan que el trabajo productivo alcanzado por la actividad obtenga escasamente un 30%, lo cual refleja una baja productividad.

Estas esperas se ven reflejadas en la figura 23 donde se indica que este factor alcanza un 19% que corresponde a 1,94 horas del total del muestreo elaborado. Además, las búsquedas de material para realizar el sello seco de arena antes de colocar la placa prefabricada, provocaron un porcentaje de ausencias del 13% equivalentes a 1,32 horas y sumado a esto, la cantidad de mediciones que se realizaron por la precisión milimétrica que se debía tener para instalar las placas en el lugar justo y no provocar retrasos en la colocación de la superestructura metálica, obtuvieron un 10% del tiempo del muestreo, al igual que el transporte de materiales o herramientas, ambos equivalentes a 1,02 horas.

Si se suman la cantidad de horas perdidas debido a los cuatro los factores antes mencionados, que influyen en la baja productividad de esta actividad se llegaría a alcanzar un total de 5,3 horas, es decir, prácticamente el 50% .

Por otra parte, el colado de las placas aisladas, tuvo un porcentaje de trabajo productivo sumamente alto, alcanzando un 73% según la figura 26, muy por encima del ideal en el sector constructivo. Esto refuerza el argumento de la gran productividad y agilidad con que se realizan las coladas de concreto, ya que este material debe ser acomodado en el elemento de manera eficiente y en un periodo corto, no dejando espacio para que el cemento fragüe antes de lo esperado, pues si no se incurriría en grandes gastos por el alto costo del concreto.

Se observaron algunos desplazamientos para instalar extensiones y transportar plantas al

frente de trabajo para poder conectar el vibrador a una fuente de energía, pues no se tenían “tomas” eléctricos cerca, estas acciones de acuerdo con lo indicado en la figura 27 alcanzó un 16% del tiempo de muestreo, lo cual significa que se perdieron alrededor de 1,4. horas.

De manera resumida, se evidencia que la productividad es muy variada para la construcción de las placas de fundación, ya que dependiendo de la dificultad de la actividad y la cantidad de integrantes de las cuadrillas, así cambian los datos arrojados por el estudio.

Por otro lado, es notable que en muchas ocasiones, como por ejemplo en la excavación de las fundaciones o en el montaje de las placas prefabricadas, se tenían más personas de las necesarias para realizar la labor y por ende en reiteradas ocasiones muchos obreros se quedaron sin labor útil, esperando únicamente a ser llamados a realizar alguna otra tarea, desperdiciando de esta forma gran cantidad de recurso humano.

Rendimiento

Se observó en el estudio de productividad realizado, que en todas las actividades los rendimientos mostrados son mucho más altos que los estipulados en el presupuesto del proyecto, por lo cual se puede deducir que los parámetros utilizados en el proceso de planeamiento de la obra no contemplaron factores como la calidad de la mano de obra, debido a que fuera del área metropolitana es más difícil conseguir recurso humano capacitado, tampoco analizaron factores climáticos debido a la cantidad de lluvias presentes en esta temporada del año y por último, el factor de mayor importancia que tal vez no se tomó en cuenta a la hora de asignar los rendimientos, fue el proceso mismo de la actividad.

Si se realiza una comparación entre la formaleta de pedestales y la formaleta de placas aisladas, según el cuadro 26, los rendimientos presupuestados son muy parecidos, lo cual es incorrecto ya que como se demostró en el estudio, los rendimientos en cada actividad son muy diferentes, variando en un 56% debido a que el proceso de encofre de pedestales lleva mucha labor de medición y trazo para colocarlos en el punto ideal para que la estructura metálica quede perfectamente alineada, proceso que no es necesario realizar en el encofre de las placas.

Por esto, se puede concluir que estos factores fueron obviados en todas las actividades estudiadas.

Por otra parte, el principal objetivo de efectuar este análisis de placas aisladas fue para llevar a cabo una comparación entre las placas construidas en sitio contra las placas prefabricadas en la obra.

Para realizar este balance es importante mencionar que la diferencia entre la cimentación de las placas prefabricadas y las coladas en sitio radica en las primeras actividades de construcción, puesto que el proceso de los pedestales es el mismo para ambos sistemas constructivos. Por lo tanto, la diferencia entre las dos actividades se podría ver, al comparar el montaje de una placa prefabricada contra el proceso de formaleteo y colado de las placas en sitio.

Entonces para esta comparación se toma como ejemplo la construcción de una placa aislada con dimensiones de 3,2x3,2x0,35m que fueron las seleccionadas para ser construidas en sitio.

El volumen de esta placa es de 3,58m³ y el área a encofrar es de 3,84m².

Si se utilizan los rendimientos reales mostrados en el cuadro 26 se determinará la cantidad de horas-hombre necesarias para levantar esta placa tanto si fuera construida en sitio, como si fuera prefabricada.

El tiempo necesario para realizar la formaleta de este elemento sería de 2,15HH y para el colado de la placa se consumirían 1,76HH.

Sumados estos dos procesos necesarios para levantar la placa se tendría un total de 3,91HH para completar la construcción del elemento.

Por otra parte, al realizar esta placa prefabricada, el tiempo de montaje consumiría únicamente 2,32HH mejorando así el tiempo de producción en un 41% equivalente a 1,59HH.

De forma clara se puede indicar que en términos de tiempo de ejecución es mucho más factible realizar la prefabricación de todas las placas del proyecto, siempre y cuando por condiciones de espacio sea posible ingresar con la grúa y proceder con el montaje de las placas.

Sin embargo, el elemento de mayor peso para la decisión del método constructivo es el costo final que se tendrá y la disponibilidad de los recursos, como en este caso una grúa móvil con la capacidad necesaria para levantar estos elementos que tienen un peso aproximado de 8

toneladas.

En cuanto al valor de un vehículo con la capacidad para levantar estos elementos se tiene que una grúa móvil con capacidad para 12 toneladas tiene un costo por hora al proyecto de ₡17.605.

Por lo tanto si se utilizaran para el montaje de las placas únicamente un operario junto con su ayudante y la grúa móvil, se tardaría en el montaje alrededor de 1,16 horas con un costo de la actividad de ₡11.107 en mano de obra, más ₡20.422 por concepto del equipo utilizado, sumando un total de ₡31.531 por cada placa montada.

Si se realiza el mismo análisis económico para la construcción en sitio de la misma placa, se tiene que se tardó en el proyecto alrededor de 2 horas, utilizando 1 operario con su respectivo ayudante e incurriéndose en un costo de la actividad de ₡27.144 por cada placa construida.

Visto de otra forma, teniendo en cuenta que en el proyecto se trabajan 9,5 horas diarias si las condiciones climáticas lo permiten, y con los rendimientos mostrados en el cuadro 26, teóricamente en un día se montarían 8,2 placas prefabricadas mientras que se construirían en sitio un máximo de 4,8.

Además, tomando en cuenta que en el proyecto se construyeron un total de 58 placas con estas dimensiones, la duración de la actividad, utilizando las placas prefabricadas, sería de aproximadamente 7,08 días, caso que si se construyeran en sitio el tiempo aumentaría a 12,21 días.

Por lo cual, el costo total de la actividad en mano de obra y equipo, prefabricando la totalidad de las placas es de aproximadamente ₡1.828.670,40 y si se construyeran estas placas en sitio el costo alcanzaría la suma de ₡1.574.354,90.

Al analizar los precios alcanzados para estos 2 métodos constructivos, claramente se puede razonar que a pesar de que la prefabricación de las placas es mucho más rápida, el costo final de la actividad es más alto con respecto a la construcción en sitio. Por lo cual se concluye que este tipo de proceso constructivo únicamente es factible en casos donde el tiempo de ejecución sea el factor crítico y no el costo, además solo puede ser implementado en proyectos con características que permitan el ingreso y circulación de las grúas móviles.

Muro de retención

Productividad

Durante el proceso de encofrado del muro de retención, se observó, con pequeñas excepciones, que los equipos y materiales se encuentran en el frente de trabajo.

Además, se tiene un taller móvil para fabricar las piezas necesarias para el encofrado, localizado en el mismo frente de trabajo, lo cual agiliza el proceso.

También, se pudo notar que se laboraba en un espacio limpio y ordenado. Todo esto repercute en la buena productividad mostrada por la cuadrilla, evidenciando un porcentaje de trabajo productivo según la figura 34 del 54%.

Por otra parte, se notó que existieron constantes periodos de espera, desplazamientos y transporte de materiales, ya que no se tenía una previa modulación del muro por lo cual se gastaba una gran cantidad de tiempo buscando material para utilizar como formaleta para posteriormente fabricar los elementos que se requirieran.

Los constantes transportes y desplazamientos en busca de los materiales o equipos necesarios para llevar a cabo la actividad corresponden de acuerdo con la figura 35 a un 14% para el primero y a un 10% para el segundo, factores que son equivalentes a 7,56 horas y 5,4 horas respectivamente.

Asimismo, el otro factor que influyó de manera significativa fue el tiempo de espera de los carpinteros mientras sus ayudantes buscaban y transportaban los materiales necesarios para continuar con el trabajo. Este tiempo corresponde según la figura 35 a un 8% del total de la medición realizada en campo, lo que implican 4,32 horas del total de tiempo de la medición.

Estos factores señalados se encuentran muy relacionados y se producen debido a una misma causa, la falta de planeación (entiéndase modulación) a la hora de realizar el formaleteo de elementos de concreto tan grandes como lo son este muro de retención.

Sin embargo, a pesar del efecto negativo de estos factores, los mismos no afectaron en gran medida la productividad ya que como se mencionó anteriormente, se alcanzó un 54% de

trabajo productivo, estando levemente debajo del ideal buscado en el sector constructivo.

Esto nos indica que el proceso de encofrado de la formaleta es bastante productivo y en general no contiene factores importantes que impliquen un atraso en el proyecto.

En el caso del colado de concreto para el muro observado, se generó un error de planificación a la hora de proceder con la actividad puesto que se habían pedido dos cargadores telescópicos para proceder rápidamente con el colado, debido a las grandes dimensiones del elemento, sin embargo, en el momento de comenzar, únicamente llegó un cargador por lo cual la cuadrilla que se tenía esperando para trabajar con la maquinaria solicitada tuvo que trabajar con solo este equipo provocando un porcentaje significativo de esperas ya que no todos podían colaborar en la actividad.

A pesar de esto, esta actividad es más provechosa que la colocación de formaleta, alcanzando un tiempo productivo de acuerdo con la figura 36 del 55%.

Por lo tanto, se puede concluir que los procesos de colado de los elementos son bastante rápidos siempre y cuando no se deba dar un acabado final a los mismos.

Rendimiento

Para el caso de la actividad de formaleta de muro de retención, de acuerdo con el cuadro 22 se obtuvo un rendimiento en la actividad de 1,33HH/m² lo que implica que para el caso concreto de este muro en el que se realizó el estudio, un carpintero junto con su ayudante colocaban aproximadamente 2 paneles de 1,83x0,6m en una hora de trabajo, con todos los accesorios necesarios para el soporte del empuje del concreto listos, es decir en aproximadamente 1 hora se dejaban terminados 2 paneles de formaleta modular.

Este rendimiento aunque no es sumamente rápido, es considerablemente bueno tomando en cuenta la gran cantidad de trabajo que implica el colocar estos paneles modulares que a pesar de ser diseñados para una fácil manipulación, debido a los usos que se les da con el tiempo, se van deteriorando y dificultan la labor de los carpinteros.

Al comparar el rendimiento obtenido en campo con el utilizado en el presupuesto (ver cuadro 25), se nota una gran diferencia entre los

datos ya que el rendimiento obtenido en el estudio se encuentra un 77% por encima de lo presupuestado.

Por otra parte, el colado del muro tuvo un rendimiento incomparable con lo estipulado en el presupuesto, mostrando un valor de 0,64HH/m³ de acuerdo con el cuadro 24, obteniéndose una diferencia de aproximadamente el 80% entre los datos teóricos y los presentados en campo.

Este análisis refuerza la idea de que en el presupuesto del proyecto no se tomaron en cuenta los factores humanos, climatológicos y los propios del proceso constructivo, generando grandes problemas económicos y de tiempo de ejecución.

Costos

Como se puede observar en el cuadro 25, las diferencias de los rendimientos utilizados para presupuestar el proyecto difieren de los reales mostrados en el estudio de campo realizado. Por eso, estos grandes contrastes repercuten enormemente en el costo final del proyecto ya que los métodos de pago de mano de obra en los respectivos cortes financieros, toman en cuenta estos rendimientos presupuestados sin importar la realidad presente en los frentes de trabajo.

Estas grandes diferencias entre los rendimientos presupuestados y los reales pudieron generarse porque no se tomaron en cuenta factores como el proceso de construcción de cada actividad y las dificultades que presentaban, generalizando de esta forma los rendimientos para facilitar los cálculos matemáticos pero repercutiendo en una mala aproximación a la realidad.

Realizar un análisis profundizado para determinar el impacto en costos de estas

diferencias entre los rendimientos queda fuera del alcance de este proyecto de graduación, sin embargo, sí se analizó el impacto económico que significó la cantidad de horas perdidas por los trabajadores en cada una de las actividades estudiadas debido a errores en la ejecución de los procesos constructivos.

En el cuadro 26 se observa que cada actividad estudiada tuvo porcentajes de horas perdidas en un rango de entre el 18% hasta el 55% del total del estudio realizado, esto involucra un gran costo para el proyecto en lo que respecta únicamente a mano de obra, ya que solo para el muestreo realizado a cada una de las actividades se tuvo un costo global de ₡1.279.029,09.

De este costo total se evidencia que la actividad de pega de bloques de mampostería consume un 87%. Este valor tiene sentido puesto que el rendimiento que se encontró más alejado de lo presupuestado fue en esta actividad, obteniéndose una diferencia con respecto al presupuesto de un 95%. Este porcentaje resulta inaceptable pues aunque se tomara en cuenta la mala calidad de mano de obra que se tuvo, no puede ser posible que se realice un presupuesto con un rendimiento tan alejado de la realidad.

Por otra parte, este costo económico muestra claramente las repercusiones de una organización deficiente para cada uno de los procesos constructivos y evidencia los apuros que se viven en la construcción por la cantidad de asuntos que se deben atender, lo cual disminuye el tiempo necesario para que el ingeniero a cargo pueda planificar de una forma eficiente el proceso constructivo y por ende disminuir los costos.

Conclusiones y recomendaciones

Conclusiones

- La mano de obra propia de la empresa, utilizada para realizar la pega de bloques de mampostería sisada, a pesar de tener una productividad considerablemente buena, no posee un rendimiento deseable debido a una pobre capacitación del personal de construcción para esta actividad.
- La técnica de sisado empleada por la mano de obra propia de la empresa constructora es deficiente, ya que se realiza la tarea en el momento en que el mortero se encuentra fresco, lo cual genera manchas en los bordes de los bloques y se debe consumir tiempo útil para continuar con otras tareas productivas, limpiando los mismos.
- El periodo de la mañana posee un mejor rendimiento tanto para la mano de obra subcontratada como para la mano de obra propia de la empresa constructora, sin embargo, en el caso de la mano de obra subcontratada la variabilidad del rendimiento es mucho menor que en el caso de la mano de obra propia de la empresa la cual presenta mayor desviación de los rendimientos.
- La empresa subcontratada para efectuar el levantamiento de algunos de los módulos del proyecto posee personal capacitado para la realización de la pega de bloques de mampostería sisada, sin embargo, el poco compromiso con su trabajo fue un factor que aumentó considerablemente los tiempos no contributivos y por ende su rendimiento no fue el deseable.
- Al realizar el análisis comparativo entre la mano de obra propia de la empresa con la mano de obra subcontratada, se pudo establecer que esta última es de mejor calidad para realizar la pega de bloques sisados, además de tener un mejor planeamiento de la obra, por lo tanto, si esta cuadrilla tuviera mayor disciplina podría obtener mejores rendimientos inclusive que la mano de obra propia de la empresa constructora.
- Al llevar a cabo el análisis comparativo entre las placas aisladas prefabricadas y las construidas en sitio, se concluye que la ejecución del prefabricado es factible únicamente en proyectos donde el factor crítico es el tiempo, pues se demostró que el costo es menor realizando la construcción en sitio, debido a que el valor del equipo utilizado en el transporte de los elementos hasta el lugar de trabajo incrementa el pecio final de la actividad.
- En general, todas las actividades investigadas presentan rendimientos presupuestados muy por debajo de los mostrados en el estudio, esto genera poca confiabilidad de la información de rendimientos que posee la empresa.
- El costo de la no planificación en términos monetarios es bastante alto puesto que se pudo señalar como para el estudio realizado, con una muestra tan pequeña en comparación con la magnitud del proyecto, el costo incurrido por concepto de mano de obra en las actividades de pega de bloques,

- placas aisladas y muro de retención alcanzó un valor de ₡1.279.029,09.
- En general, la actividad de pega de bloques de mampostería, placas aisladas y muro de retención evidencia poca coordinación en el momento de efectuar los pedidos de materiales, pues lo realizan cuando ya no se poseen los recursos, generando retrasos en el proceso constructivo.
 - Durante la observación y los análisis realizados a la actividad de pega de bloques, se determinó que uno de los factores que provocaba bajos rendimientos fue la no modulación de los bloques. Se recomendó realizar este ejercicio para medir la efectividad del proceso, obteniéndose un incremento en el rendimiento de más de un 50% según los estudios realizados por personal de la empresa.

Recomendaciones

- Capacitar la mano de obra de construcción para mejorar el rendimiento de las cuadrillas.
- Modular los planos de cada uno de los edificios diseñados en mampostería con el fin de disminuir las pérdidas en materiales y en tiempo.
- Realizar, una vez modulada la mampostería, planos de taller para guiar al maestro de obras en la ejecución de la actividad y así obtener un adecuado flujo de trabajo sin retrasos por falta de material.
- Mejorar la técnica de sisado de bloques de mampostería, esperando a que el mortero de pega fragüe para facilitar el sisado y no manchar los bloques de mampostería.
- Agilizar la planificación del pedido de materiales, anticipando su necesidad y manteniendo un “stock” de estos recursos para no interrumpir el adecuado flujo de trabajo en las actividades.
- Modular, al igual que en la mampostería, la formaleta que se utilizará en los muros de concreto, puesto que elementos tan grandes como estos pueden ahorrar mucho recurso llevando a cabo este simple procedimiento.
- Realizar una actividad de retroalimentación con todos los equipos de construcción de la empresa, con el fin de exponer los resultados obtenidos.
- Al ser un proyecto horizontal y de gran extensión, es necesaria la descentralización de la bodega de equipos y materiales, por lo tanto, se recomienda colocar pequeñas bodegas alrededor del proyecto y de esta forma disminuir los tiempos de desplazamiento y transporte de materiales.
- Para futuras obras civiles con características similares a esta, donde se tiene una construcción horizontal de gran amplitud, utilizar la técnica de prefabricación de placas de fundación siempre y cuando el tiempo no sea el factor crítico, pues se demostró su velocidad de ejecución.

Apéndices

Se presentan 2 apéndices, los cuales muestran el análisis realizado para la actividad de pega de bloques de mampostería. El primero indica los resultados obtenidos para cada uno de los días de muestreo de la mano de obra propia de la empresa y para cada una de las parejas estudiadas.

Por otra parte, en el apéndice 2 se manifiesta la misma información para la mano de obra subcontratada por la empresa.

Anexos

Se presentan 3 anexos, el primero corresponde a la plantilla de medición utilizada en los análisis de procesos realizados para cada una de las actividades estudiadas, la cual fue facilitada por la empresa constructora.

El segundo anexo contiene la distribución porcentual de actividades facilitada también por la empresa constructora, a partir de la cual se determinaron las proyecciones de los rendimientos calculados según el porcentaje de la actividad que se observó durante la medición en campo.

Por último, el tercer anexo incluido es el nomograma a partir del cual se determina la cantidad de mediciones a realizar, necesarias para que los resultados sean estadísticamente confiables.

Referencias

- Alfaro, L. 1998. **IDENTIFICACIÓN Y EVALUACIÓN DE FACTORES QUE AFECTAN LA PRODUCTIVIDAD DE LA MANO DE OBRA EN LA CONSTRUCCIÓN.** Proyecto de graduación (Licenciatura en Ingeniería Civil)--Universidad de Costa Rica. Facultad de Ingeniería. San José, Costa Rica.
- Arcia, C. 2003. **ESTIMACIÓN DE RENDIMIENTOS DE MANO DE OBRA EN PROCESOS CONSTRUCTIVOS DE VIVIENDAS UTILIZANDO BLOQUES MODULARES DE CONCRETO.** Proyecto de graduación (Licenciatura en Ingeniería Civil)--Universidad de Costa Rica. Facultad de Ingeniería. San José, Costa Rica.
- Fernández, R. 2003. *EFFECTO DEL CLIMA DE COSTA RICA EN LOS COSTOS DE MANO DE OBRA EN PROYECTOS.* **REVISTA DE LA CÁMARA COSTARRICENSE DE LA CONSTRUCCIÓN.** San José, Costa Rica.
- Muñoz, F. 2004. **FACTORES QUE FAVORECEN O LIMITAN LA PRODUCTIVIDAD DE LA MANO DE OBRA EN PROYECTOS DE CONSTRUCCIÓN.** Universidad de Costa Rica. Facultad de Ingeniería. Escuela de Ingeniería Civil. San José, Costa Rica.
- Oglesby, C. H., Parker, H. W., & Howell, G. A. (1989). **PRODUCTIVITY IMPROVEMENT IN CONSTRUCTION.** New York: McGraw-Hill.
- Ortiz, G. Paniagua, E. 2004. **COSTOS DE CONSTRUCCIÓN. INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA.** Cartago, Costa Rica.
- Serpell, B. 2002. **ADMINISTRACIÓN DE OPERACIONES DE CONSTRUCCIÓN.** Alfaomega Grupo Editor, S.A de C. V. Ediciones Universidad Católica de Chile de la Pontificia Universidad Católica de Chile. Segunda edición.
- Sumanth, D. 1990. **INGENIERÍA Y ADMINISTRACIÓN DE LA PRODUCTIVIDAD.** Editorial McGraw Hill, México.
- Thomas H.R., Horman M., Minchin E., y Chen D. 2003. *IMPROVING LABOR FLOW RELIABILITY FOR BETTER PRODUCTIVITY AS LEAN CONSTRUCTION PRINCIPLE.* **JOURNAL OF CONSTRUCTION ENGINEERING AND MANAGEMENT.** ASCE.