



UNIVERSIDAD DE CHILE

FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL

IMPACTO SOBRE PRODUCTIVIDAD Y SEGURIDAD EN PROCESOS DE  
CONSTRUCCIÓN AL USAR SISTEMAS AVANZADOS DE ADQUISICIÓN Y  
PROCESAMIENTO DE DATOS – UN ESTUDIO DE CASOS

MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL

JAIRO MARCELO ÁLVAREZ VALDÉS

PROFESOR GUÍA:  
LUIS ALARCÓN CÁRDENAS

MIEMBROS DE LA COMISIÓN:  
MAURICIO TOLEDO VILLEGAS  
IVÁN RUBIO PÉREZ

SANTIAGO DE CHILE  
2013

## **RESUMEN DE LA MEMORIA PARA OPTAR AL**

**TÍTULO DE:** Ingeniero Civil

**POR:** Jairo Marcelo Álvarez Valdés

**FECHA:** 29/11/2013

**PROFESOR GUÍA:** Luis Fernando Alarcón Cárdenas

### **IMPACTO SOBRE PRODUCTIVIDAD Y SEGURIDAD EN PROCESOS DE CONSTRUCCIÓN AL USAR SISTEMAS AVANZADOS DE ADQUISICIÓN Y PROCESAMIENTO DE DATOS – UN ESTUDIO DE CASOS**

Dentro de los sectores económicos de Chile la construcción es uno de los con más bajo crecimiento de la productividad. La seguridad en la construcción es un tema que se ha incorporado fuertemente en los últimos años, disminuyendo la tasa de accidentabilidad notablemente. Pero aun así sigue siendo de los rubros con los peores índices de accidentes laborales.

En el marco del esfuerzo para mejorar la productividad y seguridad en obras de construcción, el Centro de Excelencia en Gestión de la Producción de la Pontificia Universidad Católica de Chile (GEPUC) crea y desarrolla un sistema de adquisición y procesamiento de datos llamado Panoram. El sistema registra el proceso constructivo a través de videos digitales, con estos el analista realiza la medición que desee en el software de Panoram -carta de balance, muestreo de seguridad, muestreo del trabajo, etc.- y luego entrega un análisis automático de los resultados mediante tablas y gráficos.

Este trabajo de título tiene como objetivo realizar un estudio de casos sobre el posible impacto en productividad y seguridad en obra del sistema Panoram.

Para alcanzar el objetivo se hace uso intensivo del sistema de adquisición y procesamiento de datos, utilizándolo en distintas obras de construcción -5 proyectos: 3 de edificios habitacionales y 2 de viviendas de albañilería-. Se hacen mediciones en cada una de estas obras, Panoram entrega el análisis y se usa para dar oportunidades de mejora a la gerencia de obra en pos de mejorar la productividad y seguridad. Luego de tomar acción se vuelve a registrar el proceso constructivo y se procesan los datos. Así se tiene un antes y un después; se puede comparar y discutir sobre el impacto de Panoram en los resultados.

Se registraron cuatro casos con impactos reales -tres de productividad y uno de seguridad-. En tres de ellos -dos de productividad y uno de seguridad- se vieron mejoras importantes porque las oportunidades propuestas a las gerencias de obra respectivas fueron claras y concretas. En el caso donde no se vio una mejora drástica, hablando porcentualmente, fue el único donde se sugirió una oportunidad amplia y general, no específica al problema.

*Nosotros nacimos de la noche.  
En ella vivimos.  
Moriremos en ella.  
Pero la luz será mañana para los más,  
para todos aquellos que hoy lloran la noche,  
para quienes se niega el día,  
para quienes es regalo la muerte,  
para quienes está prohibida la vida.  
Para todos la luz.  
Para todos todo.*

## Agradecimientos

Si hay un momento cuando uno se puede poner sentimental es este, así que aquí va.

Agradezco a mi familia, a mis padres y a mi hermana, por el apoyo recibido durante estos largos años y por ser el mejor público para mis tallas fomes. También al huésped permanente que tenemos, Kabezón, y a los integrantes de la casa más pequeños y más revoltosos por hacerme compañía.

Agradezco a mis amigos: Eli, Fifo, Isa, Jablo, Leo, Paula, Piru, Salva, Vecino. Los ordené en orden alfabético para que nadie se sintiera... Sin ustedes sería mucho más fome el diario vivir. También al 4°C 2005.

Agradezco a mis amigos de pichangas y deportes varios: Perro, Oriel, Salinas, Pato Vergara, Carcuro, Monje, Juampi, Seba Tapia. ¡Vamos los marrones! También a todos con los que compartí durante mi estadía en Beauchef: Abogado, Pato Vargas, Manuel, Hermo, Camilo, Pablo H., JP, Rodrigo, Xime, Maldonado, etc. ¡Mil gracias por todo!

Agradezco a los profesores que me guiaron durante este estudio, a Luis Fernando Alarcón, a Mauricio Toledo y a Iván Rubio. También a los gepucianos por la buena onda y por tener un ambiente de trabajo tan agradable, especialmente a quienes estuvieron trabajando conmigo, a Daniela Sossdorf, a Alfonso González y a Hans Ulloa.

Y, por último, agradezco a los rebeldes del 19 de abril de 1925.

Gracias totales.

## Tabla de contenido

1.	INTRODUCCIÓN .....	1
1.1.	Objetivos.....	1
1.1.1.	Objetivo general .....	1
1.1.2.	Objetivos específicos .....	1
1.2.	Hipótesis.....	2
1.3.	Metodología.....	2
2.	ANTECEDENTES Y MARCO TEÓRICO .....	6
2.1.	Proyectos y trabajo del autor del estudio.....	6
2.2.	Productividad.....	8
2.2.1.	Captura de datos sobre productividad en la construcción.....	8
2.2.1.1.	Muestreo del trabajo .....	9
2.2.1.2.	Carta de balance .....	10
2.3.	Seguridad en el trabajo .....	11
2.3.1.	Captura de datos sobre seguridad en la construcción .....	12
2.3.1.1.	IPA.....	12
2.3.1.2.	Muestreo de seguridad .....	12
3.	PANORAM.....	14
3.1.	Descripción.....	14
3.2.	Herramientas de productividad.....	15
3.2.1.	Carta de balance.....	15
3.2.1.1.	Descripción .....	15
3.2.1.2.	Lectura de gráficos .....	20
3.2.1.3.	Tareas definidas .....	21
3.2.2.	Muestreo del trabajo.....	21
3.2.2.1.	Descripción .....	21
3.2.3.	Ruta de grúa .....	25
3.2.3.1.	Descripción.....	25
3.2.3.2.	Lectura de gráficos .....	27
3.3.	Herramientas de seguridad .....	30
3.3.1.	5S + IPA.....	30
3.3.1.1.	Descripción .....	30
3.3.2.	Muestreo de seguridad.....	32
3.3.2.1.	Descripción .....	32
3.4.	Observaciones sobre la velocidad de medición.....	36

4.	CASOS CON MEJORAS POTENCIALES .....	38
4.1.	Caso Alfa, productividad.....	39
4.1.1.	Antecedentes previos.....	39
4.1.2.	Resultados 1° medición.....	41
4.1.3.	Resultados 2° medición y análisis.....	41
4.1.4.	Horas hombre para realizar las mediciones .....	44
4.2.	Caso Beta, productividad.....	45
4.2.1.	Antecedentes previos.....	45
4.2.2.	Resultados .....	46
4.2.3.	Análisis.....	46
4.2.4.	Horas hombre para realizar las mediciones .....	48
4.3.	Caso Gamma, productividad .....	49
4.3.1.	Antecedentes previos.....	49
4.3.2.	Resultados .....	50
4.3.3.	Análisis.....	50
4.3.4.	Horas hombre para realizar las mediciones .....	54
4.4.	Resumen de los casos .....	55
5.	ESTUDIO DE CASOS .....	56
5.1.	Caso A, productividad .....	57
5.1.1.	Antecedentes previos.....	57
5.1.2.	Resultados .....	58
5.1.3.	Análisis.....	60
5.1.4.	Horas hombres para realizar las mediciones .....	61
5.2.	Caso B, seguridad .....	63
5.2.1.	Antecedentes previos.....	63
5.2.2.	Resultados y análisis.....	65
5.2.3.	Horas hombres para realizar las mediciones .....	66
5.2.4.	Impacto del observador en los resultados.....	66
5.3.	Caso C, productividad .....	68
5.3.1.	Antecedentes previos.....	68
5.3.2.	Resultados 1° medición.....	69
5.3.3.	Resultados 2° medición y análisis.....	69
5.3.4.	Horas hombre para realizar las mediciones .....	72
5.4.	Caso D, productividad .....	74
5.4.1.	Antecedentes previos.....	74
5.4.2.	Resultados 1° medición.....	76

5.4.3.	Resultados 2° medición y análisis .....	76
5.4.4.	Horas hombre para realizar las mediciones .....	78
5.5.	Resumen de los casos .....	80
6.	COMENTARIOS Y CONCLUSIONES .....	81
6.1.	Conclusiones de los casos con mejoras potenciales.....	81
6.2.	Conclusiones del estudio de casos .....	82
6.3.	Comentarios generales .....	84
6.4.	Comentarios sobre las cartas de balance .....	85
6.5.	Comentarios sobre las rutas de grúas.....	85
6.6.	Comentarios sobre los muestreos de seguridad .....	86
6.7.	Desarrollos futuros .....	86
7.	BIBLIOGRAFÍA.....	87

## Índice de figuras

Figura 1: Método para llevar a cabo un estudio de casos. ....	3
Figura 2: Diagrama de flujo del sistema Panoram.....	4
Figura 3: Ejemplo de una carta de balance de la cuadrilla. ....	10
Figura 4: Interfaz de inicio del software Panoram. ....	14
Figura 5: Interfaz de inicio del módulo carta de balance. ....	16
Figura 6: Interfaz para realizar una carta de balance en Panoram.....	17
Figura 7: Resultado entregado por Panoram, nivel de actividad. ....	18
Figura 8: Resultado entregado por Panoram, nivel de actividad por tarea.....	18
Figura 9: Resultado entregado por Panoram, distribución de tiempos.....	19
Figura 10: Resultado entregado por Panoram, gráfico de balance. ....	19
Figura 11: Ejemplo de una carta de balance. ....	20
Figura 12: Correspondencia entre las tareas y los colores de la carta de balance. ....	20
Figura 13: Interfaz para configurar la medición de muestreo del trabajo.....	22
Figura 14: Interfaz para medir mediante muestreo del trabajo en Panoram. ....	23
Figura 15: Resultado entregado por Panoram, nivel de actividad general de la obra. ...	24
Figura 16: Resultado entregado por Panoram, nivel de actividad por fecha y sesión. ...	24
Figura 17: Error al intentar configurar la medición de rutas de grúas. ....	25
Figura 18: Configuración utilizada para rutas de grúas en las primeras mediciones.....	26
Figura 19: Configuración utilizada para rutas de grúas en las últimas mediciones. ....	26
Figura 20: Ejemplo de una ruta grúa (1).....	28
Figura 21: Barra que representa el movimiento con carga.....	28
Figura 22: Barra que representa a las tareas que no se pueden asociar a materiales. .	28
Figura 23: Barra que representa el tiempo muerto con carga. ....	28
Figura 24: Barra que representa el sostenimiento de materiales. ....	28
Figura 25: Visión e identificación de la grúa.....	29
Figura 26: Ejemplo de una ruta grúa (2).....	30
Figura 27: Correspondencia entre las tareas y los colores de la ruta de grúa. ....	30
Figura 28: Tarjeta de organización y orden en Panoram. ....	31
Figura 29: Tarjeta de limpieza en Panoram. ....	31
Figura 30: Tarjeta I.P.A. en Panoram. ....	32
Figura 31: Interfaz para configurar la medición de muestreo de seguridad.....	33

Figura 32: Interfaz para medir mediante muestreo del seguridad en Panoram.....	34
Figura 33: Resultado entregado por Panoram, nivel de seguridad general de la obra...	35
Figura 34: Resultado entregado por Panoram, nivel de seguridad por fecha y sesión. .	35
Figura 35: Secuencia constructiva del hormigonado de losa mediante bombeo.....	39
Figura 36: Identificación de área hormigonada en la medición del 10 de abril. ....	40
Figura 37: Identificación de área hormigonada en la medición del 24 de abril. ....	40
Figura 38: Carta de balance hormigonado de losa, 10 de abril. ....	42
Figura 39: Carta de balance hormigonado de losa, 24 de abril. ....	42
Figura 40: Nivel de actividad promedio, 10 de abril y 24 de abril. ....	43
Figura 41: Secuencia constructiva del hormigonado de muros usando carretillas. ....	49
Figura 42: Número de carretillas transportadas, 25 de julio. ....	52
Figura 43: Carta de balance hormigonado de muro, 25 de julio.....	53
Figura 44: Número de carretillas transportadas con la configuración de cuadrilla recomendada. ....	54
Figura 45: Nivel de actividad, 3° semana. ....	59
Figura 46: Uso de la grúa por tarea, promedio semanal. ....	61
Figura 47: Uso de la grúa por material, promedio semanal.....	61
Figura 48: Ejemplo de trabajadores trepando entre niveles, acción sub-estándar. ....	64
Figura 49: Muestreos de seguridad, promedio semanal. ....	66
Figura 50: Diferencia de resultados por distintos observadores, muestreos de seguridad. .....	67
Figura 51: Secuencia de hormigonado de muros usando camión-bomba. ....	69
Figura 52: Carta de balance hormigonado de muro, 7 de agosto. ....	71
Figura 53: Carta de balance hormigonado de muro, 20 de agosto. ....	71
Figura 54: Identificación de trabajadores en la medición del 21 de agosto. ....	75
Figura 55: Identificación de trabajadores en la medición del 13 de septiembre. ....	75
Figura 56: Secuencia de hormigonado de muros usando camión-bomba. ....	76
Figura 57: Nivel de actividad promedio, 21 de agosto y 13 de septiembre. ....	78

## Índice de tablas

Tabla 1: Resumen de empresas participantes y de la labor del autor del estudio.....	7
Tabla 2: Cantidad de mediciones realizadas por el autor de este estudio. ....	8
Tabla 3: Muestras mínimas necesarias para muestreo del trabajo. ....	22
Tabla 4: Muestras mínimas necesarias para muestreo de seguridad. ....	33
Tabla 5: Tiempos de medición de cartas de balance y rutas de grúas, sistema Panoram vs. método manual. ....	36
Tabla 6: Tiempos de muestreos de seguridad, sistema Panoram vs. método manual. .	37
Tabla 7: Nivel de actividad y participación, 10 de abril y 24 de abril. ....	43
Tabla 8: Comparación de tiempos de medición, con Panoram y manual.....	44
Tabla 9: Nivel de actividad y participación, 13 de abril (3 mediciones), 11 de mayo y 22 de mayo.....	47
Tabla 10: Comparación de tiempos de medición, con Panoram y manual.....	48
Tabla 11: Nivel de actividad y participación, 25 de julio. ....	51
Tabla 12: Comparación de tiempos de medición, con Panoram y manual.....	54
Tabla 13: Comparación de tiempos de medición, con Panoram y manual.....	62
Tabla 14: Cantidad de videos presentados a la gerencia de obra.....	64
Tabla 15: Comparación de tiempos de medición, con Panoram y manual.....	66
Tabla 16: Nivel de actividad y participación, 7 de agosto y 20 de agosto. ....	72
Tabla 17: Productividad, 7 de agosto y 20 de agosto.....	72
Tabla 18: Comparación de tiempos de medición, con Panoram y manual.....	73
Tabla 19: Nivel de actividad y participación, 21 de agosto y 13 de septiembre.....	77
Tabla 20: Productividad, 21 de agosto y 13 de septiembre.....	78
Tabla 21: Comparación de tiempos de medición, con Panoram y manual.....	79
Tabla 22: Recursos usados y mejoras potenciales en cada caso. ....	82
Tabla 23: Recursos usados y mejoras obtenidas en cada caso.....	83

# **1. INTRODUCCIÓN**

Dentro de los sectores económicos de Chile la construcción es uno de los con más bajo crecimiento de la productividad. Según Serpell (2002) la productividad y su mejoramiento permanente es una de las metas principales de una empresa, proyecto u operación de construcción (p. 29). La falta de datos para mejores análisis de operaciones es una de los problemas. Por esto, un sistema que facilite la toma de datos y entregue gráficos y estadísticas actuales e históricas de forma automática sería de gran ayuda para mejorar la productividad.

La seguridad en la construcción es un tema que se ha incorporado fuertemente en los últimos años, disminuyendo la tasa de accidentabilidad notablemente. Pero aun así sigue siendo de los rubros con los peores índices de accidentes laborales. Según Sosdorf (2009) el 35% de los accidentes fatales registrados por la Mutual de Seguridad en 2006 fueron en el rubro de la construcción. Si se compara con países desarrollados el país se encuentra en los rangos de Francia y Estados Unidos en los años 90 (p. 15), todavía existe un atraso en esta materia.

En el marco del esfuerzo para mejorar la productividad y seguridad en obras de construcción, el Centro de Excelencia en Gestión de la Producción de la Pontificia Universidad Católica de Chile (GEPUC) crea y desarrolla un sistema de adquisición y procesamiento de datos llamado Panoram.

Tener un estudio de casos donde se observe el impacto al usar este sistema de adquisición y procesamiento de datos facilitará la decisión de las empresas constructoras y motivará a los administradores de obra a utilizar Panoram, ya que tendrán datos duros sobre las posibilidades de mejora tanto en productividad como en seguridad.

## **1.1. Objetivos**

### **1.1.1. Objetivo general**

Observación y análisis de casos de mejora en productividad y seguridad en obras de construcción al aplicar el sistema de adquisición y procesamiento de datos Panoram.

### **1.1.2. Objetivos específicos**

- Hacer mediciones de productividad y seguridad en distintas obras.
- Analizar e interpretar los datos entregados por Panoram.
- Implementar mejoras a partir del análisis entregado por Panoram.

- Volver a hacer mediciones en las faenas donde se implementaron las mejoras presentadas anteriormente.
- Presentar casos con mejoras potenciales, en los que se ofrecen oportunidades de mejora pero no son llevadas a cabo por la gerencia de obra.

## **1.2. Hipótesis**

El sistema Panoram influye en el aumento de la productividad y en la mejoría en la seguridad en las obras de construcción.

## **1.3. Metodología**

El Centro de Excelencia en Gestión de la Producción de la Pontificia Universidad Católica de Chile (GEPUC) busca probar Panoram en distintas obras de construcción, para esto ofrece el servicio de forma gratuita a varias constructoras. Los objetivos de GEPUC son perfeccionar el sistema: encontrar errores para corregirlos y buscar la mejor forma de implementar el sistema; y también busca casos de mejoras reales al utilizar Panoram. Dentro de esto se inserta el estudio actual.

Para lograr el objetivo planteado se realizarán las siguientes etapas:

### **Revisión de antecedentes**

Este es el primer paso del trabajo. Se realiza una amplia revisión sobre productividad y seguridad. Con esto se conocen distintos métodos -carta de balance, muestreo del trabajo, ruta de grúa, muestreo de seguridad- para medir en las obras de construcción y también se conocen distintos indicadores -nivel de actividad real, coeficiente de participación, nivel de actividad relativo, porcentaje de trabajo productivo, porcentaje de trabajo contributorio, porcentaje de trabajo no contributorio, porcentaje de trabajo seguro, porcentaje de trabajo no seguro- para ver donde existe una oportunidad de mejora y para poder comparar el antes y el después. Esta etapa también incluye la familiarización con el sistema Panoram, principalmente con el software, para lo cual se cuenta con manuales de cada una de las herramientas y con la ayuda de algunos trabajadores de GEPUC.

Luego se siguen los pasos necesarios para desarrollar un estudio de casos (ver Figura 1).

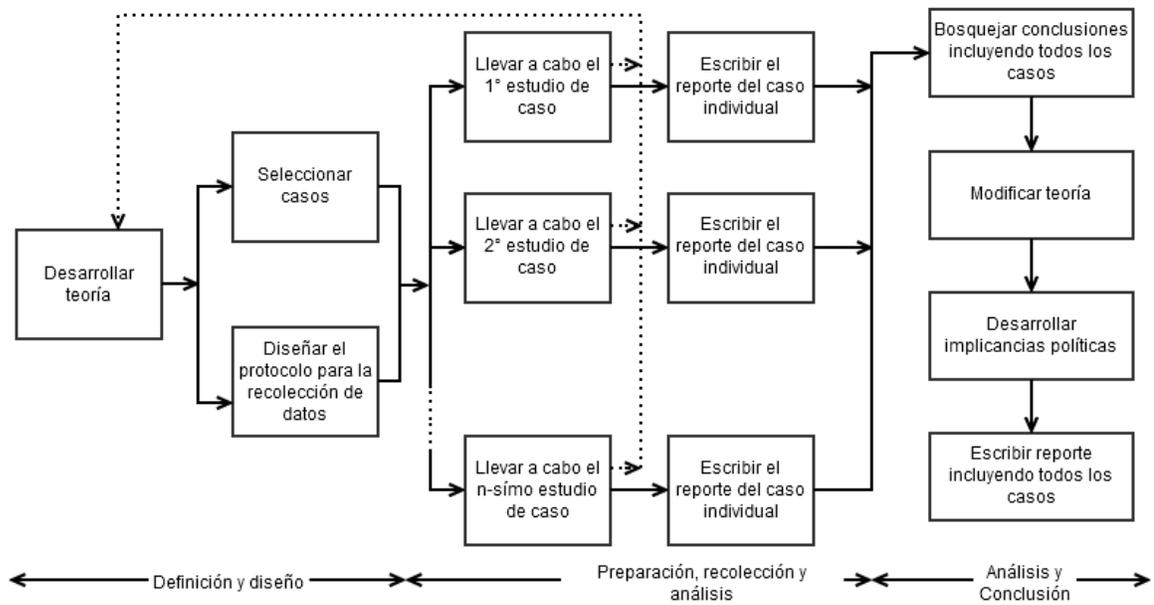


Figura 1: Método para llevar a cabo un estudio de casos.  
(Yin, 2003, p. 50)

## Definición y diseño

Se desarrolla la teoría, según Robert K. Yin (2003) esta no debe considerarse con la formalidad de una gran teoría de las ciencias sociales. El simple objetivo es tener una guía suficiente para el estudio, satisfactoriamente descrito por dos autores como 'una historia (hipotética) sobre por qué actos, eventos, estructura y pensamientos ocurren' (p. 28).

Se seleccionan los casos en los cuales la gerencia de obra tomó cartas en el asunto, es decir, en los cuales tomó en cuenta las oportunidades de mejora presentadas por el equipo de GEPUC. Solo estos serán incluidos en el estudio de casos (Capítulo 5). Por otra parte, habrá un capítulo dedicado a casos con mejoras potenciales, es decir, donde hubo una oportunidad de mejora clara y no fue tomada en cuenta por la gerencia de obra -por distintos motivos-, este capítulo no es parte del estudio de casos porque no entrega respuesta a la pregunta primordial ¿Panoram tiene influencia sobre el posible aumento de la productividad y mejora en la seguridad de la obra? (Capítulo 4).

El diseño del protocolo para la recolección de datos está dado por el diagrama de flujo de Panoram (ver Figura 2) y por las restricciones en la tecnología usada.

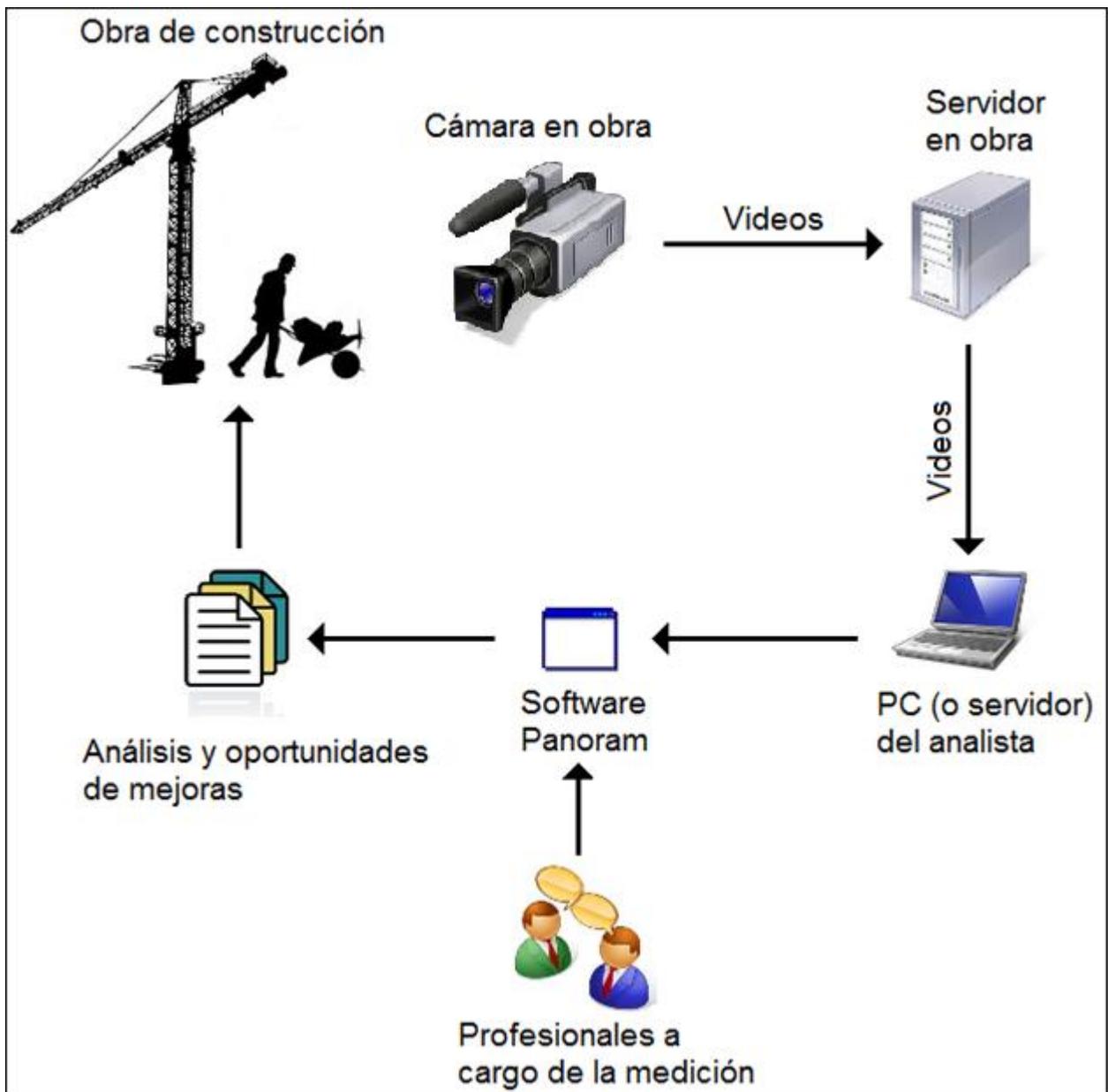


Figura 2: Diagrama de flujo del sistema Panoram.  
(Sossdorf, 2009, p. 66)

### Preparación, recolección y análisis de datos

Se toman los primeros datos de acuerdo a las necesidades que presenta cada obra -la cantidad de obras y el tipo, edificios habitacionales, de oficina, viviendas de albañilería, etc., serán determinados por GEPUC y la disponibilidad-. Se hacen las mediciones de seguridad y productividad utilizando el sistema Panoram y de acuerdo al análisis que entrega el programa, gráficos y tablas, se dan oportunidades de mejora a la gerencia de obra, ya sea para aumentar la seguridad o la productividad. En este punto se produce la retroalimentación, la gente de obra informa sobre qué es posible y qué no. Una vez que se tomaron las medidas aconsejadas por el equipo de GEPUC se

vuelve a medir la misma faena, entonces se obtiene un antes y un después. Luego, con los distintos indicadores de productividad y seguridad, es posible comparar las distintas situaciones.

Entonces se escribe el reporte del caso, se incluyen las oportunidades de mejora presentadas y que fueron escuchadas, los distintos gráficos -carta de balance, de nivel de actividad general, nivel de actividad por tarea, gráfico de trabajo seguro – no seguro, etc.- y la comparación entre las distintas mediciones que se hicieron. Finalmente se concluye sobre el impacto que tuvo Panoram en los resultados presentados.

### **Análisis y conclusiones**

Con todos los casos descritos, analizados y las conclusiones a las que se llega en cada uno de ellos, se realiza una conclusión que abarque la totalidad de los resultados. Entonces, se ve si la teoría inicial se ajusta a los casos, de no ser así se modifican ciertos elementos de ésta para poder dar cuenta de mejor forma del fenómeno estudiado. Se realiza informe final que incluye todos los casos.

## 2. ANTECEDENTES Y MARCO TEÓRICO

### 2.1. Proyectos y trabajo del autor del estudio

Un total de 3 empresas y 5 obras adoptaron el sistema Panoram durante el transcurso de este estudio (ver resumen en Tabla 1). Las empresas y sus proyectos son identificados con nombres de fantasía. De una obra se pueden tener varios casos porque se midieron distintas faenas en cada una de ellas.

En las obras Proyecto 1 y Proyecto 2, GEPUC no hacía asesoría alguna, la única relación entre el centro de la Universidad Católica y los proyectos constructivos era la prestación del servicio Panoram en forma gratuita ya que este se encontraba en etapa de desarrollo. En las obras Proyecto 3, Proyecto 4 y Proyecto 5 -todas pertenecientes a la Empresa 3-, GEPUC realizaba una asesoría para aumentar la productividad enseñando y aplicando distintas técnicas para este propósito. Dentro de la asesoría se encontraba Panoram.

El trabajo del autor de este estudio en los Proyecto 1 y Proyecto 2 consistió en ir a buscar los videos a obra, estos se almacenaban en un disco duro externo; realizar las mediciones -cartas de balance, rutas de grúa, muestreo del trabajo, y muestreos de seguridad- utilizando el software Panoram; a partir de los resultados, gráficos y tablas, sugerir oportunidades de mejora; hacer una presentación con los resultados usando el programa *Microsoft PowerPoint*; y, finalmente, participar de la reunión con la gerencia de obra donde se discutían los resultados y las oportunidades de mejora. En las reuniones por parte de GEPUC asistían el autor del estudio y un ingeniero civil -trabajador de GEPUC y encargado principal de Panoram-; en el Proyecto 1 asistía el administrador de la obra; en el Proyecto 2 asistían el administrador de la obra, los dos jefes de terreno y un gerente de la Empresa 2.

El trabajo del autor de este estudio en los últimos tres proyectos -Proyecto 3, Proyecto 4 y Proyecto 5- consistió en ir a grabar la faena requerida a obra con una cámara de mano; realizar las mediciones utilizando el software Panoram; a partir de los resultados, gráficos y tablas, sugerir oportunidades de mejora. No se participó de las reuniones con la gerencia de obra.

En las cinco obras el autor del estudio también tuvo el trabajo de editar videos de: acciones sub-estándares, buenas prácticas, trabajo productivo, trabajo contributorio, trabajo no contributorio, falta de calidad en el trabajo y/o las distintas etapas de una faena. Editar los videos consiste en buscar, durante las grabaciones de un día -11 horas aproximadamente-, las acciones requeridas y luego utilizar el programa *Windows Live Movie Maker* para aislar la acción. También se usan los programas *Paint* o *Adobe Photoshop CS5* -el programa que se usa depende de la complejidad de la tarea que se quiere realizar- para editar imágenes que se introducen en los *clips* creados.

Empresa constructora	Obras participantes	Asesoramiento por parte de GEPUC	Trabajo del autor de este estudio
Empresa 1	- Proyecto 1: edificio habitacional de 15 pisos.	- Solo Panorám. - Cámara fija y servidor en obra.	- Hacer las mediciones. - Editar videos. - Sugerir las oportunidades de mejora. - Participar de las reuniones con la gerencia de obra.
Empresa 2	- Proyecto 2: edificio habitacional de 7 pisos.	- Solo Panorám. - 2 cámaras fijas, una para la grúa y otra para la obra en general; y servidor en obra.	- Hacer las mediciones. - Editar videos. - Sugerir las oportunidades de mejora. - Participar de las reuniones con la gerencia de obra.
Empresa 3	- Proyecto 3: viviendas de albañilería (ladrillos ICF). - Proyecto 4: viviendas de albañilería (ladrillos ICF). - Proyecto 5: 5 edificios habitacionales de 6 pisos cada uno.	- Asesoramiento completo para mejorar productividad. - Cámara de mano.	- Hacer las mediciones. - Editar videos. - Sugerir las oportunidades de mejora.

Tabla 1: Resumen de empresas participantes y de la labor del autor del estudio.

En las obras Proyecto 1 y Proyecto 2 se instalaron cámaras fijas. En Proyecto 3, Proyecto 4 y Proyecto 5 se debía ir hasta la obra para grabar, con una cámara de mano, la faena deseada. Es por esto que se hicieron muchas más mediciones en los dos primeros proyectos que en los últimos tres (ver Tabla 2), era mucho más fácil obtener el registro digital.

En la Tabla 2 se observa el total de mediciones que hizo el autor del estudio - excepto por 16 rutas de grúas que fueron realizadas por un profesional de GEPUC-, la gran mayoría no se incluyeron en el estudio de casos (Capítulo 5) porque las oportunidades de mejora no fueron llevadas a cabo por la gerencia de obra -condición suficiente y necesaria para ser incluida-.

Proyecto	Cartas de balance			Rutas de grúas			Muestreos del trabajo			Muestreos de seguridad			Meses de las mediciones*
	(a)	(b)	(c)	(a)	(b)	(c)	(a)	(b)	(c)	(a)	(b)	(c)	
Proyecto 1	18	2	0	-	-	-	7	0	0	5	0	0	Febrero hasta mayo
Proyecto 2	13	5	0	39	0	35	11	0	0	12	0	8	Febrero hasta mayo
Proyecto 3	6	1	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Julio hasta noviembre
Proyecto 4	2	0	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Agosto y octubre
Proyecto 5	1	0	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Agosto

Tabla 2: Cantidad de mediciones realizadas por el autor de este estudio.

(a): Cantidad total de mediciones realizadas durante el transcurso de este estudio, algunas fueran recogidas en el presente informe y otras descartadas.

(b): Cantidad de mediciones incluidas en el Capítulo 4: Casos con mejoras potenciales.

(c): Cantidad de mediciones incluidas en el Capítulo 5: Estudio de casos.

\* Año 2012

## 2.2. Productividad

De acuerdo a Serpell (2002), productividad es una medición de la eficiencia con que los recursos son administrados para completar un producto específico, dentro de un plazo establecido y con un estándar de calidad dado (p. 29).

Si se desea una fórmula para ella, esta es:

$$\text{Productividad} = \frac{\text{Cantidad producida}}{\text{Recursos empleados}}$$

### 2.2.1. Captura de datos sobre productividad en la construcción

Oglesby, Parker, Howell (1989) define así las tres principales categorías utilizadas para las mediciones de productividad:

- Trabajo productivo (T.P.) (agrega valor): aquel que aporta en forma directa a una unidad de producción. Por ejemplo: vibrar el hormigón, colocar ladrillos, pintar, etc.
- Trabajo contributorio (T.C.) (no agrega valor): aquel que debe realizarse para que pueda ejecutarse el trabajo productivo. Por ejemplo: transporte de material, recepción/entrega de instrucciones, lectura de planos, mediciones, etc.
- Trabajo no contributorio (T.N.C.) (no agrega valor): cualquier actividad que no corresponde a las categorías anteriores. Por ejemplo: ocio, esperas, interrupciones no autorizadas, traslado de un lugar a otro, actividades personales, etc. (p. 176-177)

Estas tres categorías son utilizadas para los muestreos del trabajo y para las cartas de balance.

### **2.2.1.1. Muestreo del trabajo**

El muestreo del trabajo sirve para medir el porcentaje de tiempo que la mano de obra y los equipos ocupan en ciertas categorías predeterminadas de actividades (Serpell, 2002, p. 173). El objetivo general es la determinación estadística de la forma en que el tiempo de trabajo está siendo utilizado por el personal y los equipos. Las principales categorías y las más utilizadas son: trabajo productivo, trabajo contributorio y trabajo no contributorio.

Algunas características que definen particularmente a esta herramienta, son:

- Es una medición para el análisis cuantitativo en términos de tiempo de las actividades de recursos.
- Se aplica principalmente a la mano de obra y/o equipos.
- Las observaciones de muestreo deben ser hechas en forma aleatoria.
- Se deben establecer categorías predeterminadas de actividades en las cuales clasificar las observaciones de los recursos.
- Los resultados permiten realizar una inferencia estadística de las actividades de los recursos (Alarcón, 2001, p. 40).

El problema de esta medición es que con los resultados obtenidos, porcentaje de trabajo productivo, contributorio y no contributorio de la actividad, es difícil dar un diagnóstico. Esta herramienta es más adecuada para ver si existe un problema y si lo hay entonces realizar otra medición, como por ejemplo, una carta de balance, para así tener una clara descripción de la actividad y ser capaz de dar un diagnóstico preciso para mejorar la productividad.

### 2.2.1.2. Carta de balance

La carta de balance es un gráfico de barras que posee una ordenada de tiempo y una abscisa en la que se indican los distintos recursos que participan en la actividad que se estudia. Según transcurre el tiempo, se representan las diferentes actividades realizadas por los recursos, obteniéndose de esta forma una barra que muestra la secuencia de tareas para cada uno de ellos (ver Figura 3). A causa de que todos los recursos son representados en un mismo período de tiempo, se puede, a través de la comparación, observar la relación entre ellos e identificar patrones que incidan en el ciclo de trabajo (GEPUC, 2003, p. 5)

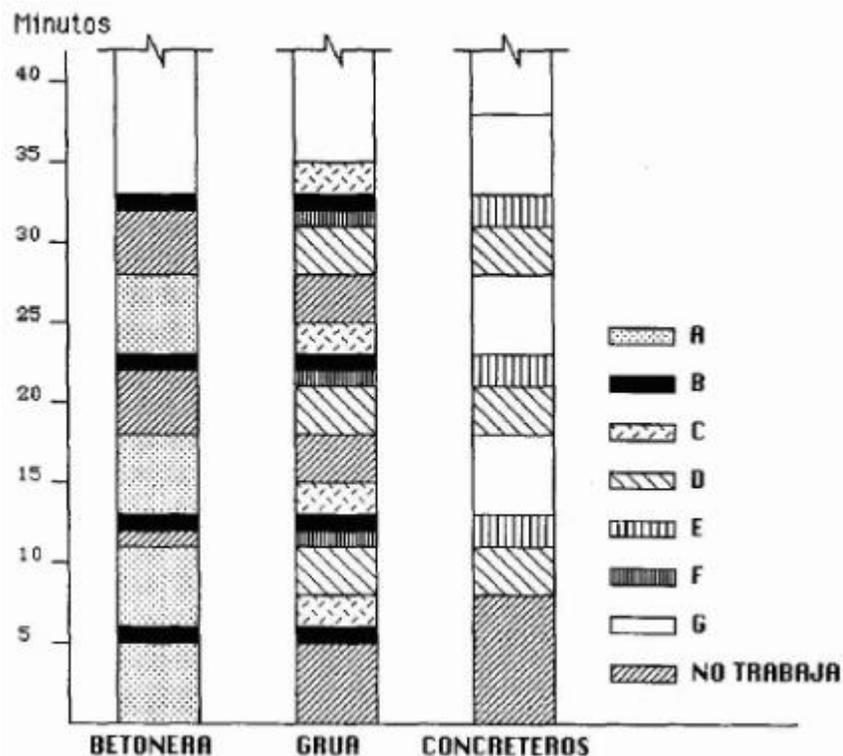


Figura 3: Ejemplo de una carta de balance de la cuadrilla.  
(Serpell, 2002, p. 184)

Cada letra -A, B, C, D, E, F, G- y "No Trabaja" representan las distintas actividades que realizan la "Betonera", la "Grúa" y los "Concreteros" durante el transcurso de la medición.

El objetivo de esta técnica es analizar la eficiencia del método constructivo empleado, más que la eficiencia de los obreros, de modo que no se pretende conseguir que trabajen más duro, sino en forma más inteligente. Las vías para mejorar la eficiencia del grupo de trabajo que materializa las actividades de interés son la reasignación de tareas entre sus miembros y/o la modificación del tamaño del grupo que conforma la cuadrilla (Serpell, 2002, p. 184).

A continuación se presentan algunos indicadores que se obtienen al realizar una carta de balance:

$$\text{Nivel de actividad real (N. A. R.)} = \frac{\text{Tiempo que el recurso trabaja}}{\text{Tiempo que el recurso está presente}} \times 100\%$$

$$\text{Coeficiente de participación} = \frac{\text{Tiempo que el recurso está presente}}{\text{Tiempo total de la actividad}}$$

$$\text{Nivel de actividad relativo} = \frac{\text{Tiempo que el recurso trabaja}}{\text{Tiempo total de la actividad}} \times 100\%$$

Con esta información también se puede definir el nivel de actividad real como:

$$\text{Nivel de actividad real (N. A. R.)} = 100\% - \text{Porcentaje de trabajo no contributivo}$$

### **2.3. Seguridad en el trabajo**

Según NCh18000.Of2004, seguridad es la condición de ausencia de riesgo inaceptable (p. 8).

De acuerdo a NCh436.Of2000, las causas de los accidentes del trabajo se pueden encontrar en dos tipos:

- Causa inmediata: aquellas que causan directamente el accidente. Las causas inmediatas son de dos tipos:
  - acciones sub-estándares: desviarse, por parte del trabajador, de una conducta considerada como segura y que posibilita que este se accidente.
  - condiciones sub-estándares: situación presente en el ambiente de trabajo, generando una condición de riesgo, que posibilita la ocurrencia de un accidente.
- Causa básica: las causas básicas son las que ocasionan las causas inmediatas, y se pueden encontrar en dos factores:
  - factores personales: explican porqué el trabajador comete acciones sub-estándares. Estos son:
    - a) el trabajador no sabe;
    - b) el trabajador no quiere; o
    - c) el trabajador no puede.
  - factores técnicos: explican porqué se producen las condiciones sub-estándares. Se pueden resumir, entre otras, en los siguientes:

- a) fallas en la disposición del trabajo;
- b) desgaste de elementos por uso;
- c) diseño inadecuado de equipos o dispositivos;
- d) falta o falla de elementos auxiliares;
- e) fallas en máquinas, equipos o herramientas;
- f) falta de mantención;
- g) compras inadecuadas;
- h) falta de orden y aseo; o
- i) instalación defectuosa de máquinas y equipos. (p. 4-5)

### **2.3.1. Captura de datos sobre seguridad en la construcción**

#### **2.3.1.1. IPA**

Este indicador fue creado por la profesional de prevención de riesgos en obra, Priscilla Quintana, de la empresa constructora Echeverría Izquierdo Ingeniería y Construcción S.A. Este indicador proactivo se basa en registrar las acciones y condiciones sub-estándares que ocurren en la obra. El indicador se define como:

$$IPA = \frac{\text{N}^\circ \text{ de acciones subestándares} + \text{N}^\circ \text{ de condiciones subestándares}}{\text{Masa laboral}} \times 100\%$$

Este registro se realiza diariamente durante aproximadamente hora y media de inspección en terreno (Sossdorf, 2009, p. 75).

#### **2.3.1.2. Muestreo de seguridad**

El marco teórico del muestreo general se puede encontrar en el Capítulo 2.2.1.1. Lo que se mide en un muestreo general es productividad, pero el muestreo también se ha usado para medir aspectos de prevención de riesgos (Tarrants, 1980, citado por De St. Aubin, 2008, p. 39). Las categorías de trabajo son libres para quien diseña el muestreo. En este estudio se usará trabajo seguro – trabajo no seguro.

El trabajo seguro es la condición de ausencia de riesgo inaceptable. Se entiende por riesgo inaceptable a las condiciones que no cumplen con las exigencias de las obligaciones legales y/o la política de PRP -declaración de los compromisos y principios valóricos- de la organización (NCh1800.Of2004, p. 8). El trabajo no seguro es lo opuesto a lo anterior, es decir, es la presencia de riesgo inaceptable.

El muestreo de seguridad es una herramienta simple y flexible, permite indicar la situación en la obra de las categorías de seguridad que se quieren analizar en un

momento dado, y registrarlas en el tiempo para analizar tendencias (De St. Aubin, 2008, p. 39).

### 3. PANORAM

En este capítulo se explicarán el sistema Panoram y las herramientas de medición que se usaron durante este estudio. También se explicará como leer los gráficos: cartas de balance y rutas de grúas.

#### 3.1. Descripción

Panoram es un sistema de adquisición y procesamiento de datos desarrollado por la Pontificia Universidad Católica de Chile.

Consiste en obtener registro en video de las actividades de una obra de construcción, trasladar este registro hasta el computador de la persona a cargo de la medición -puede ser un pc o un servidor para que varias personas tengan acceso a él-. Y, finalmente, consta de un software (ver interfaz en Figura 4) donde el encargado introduce los videos, se hacen las mediciones correspondientes -de productividad y seguridad- y Panoram entrega un análisis de datos mediante tablas y gráficos. Es tarea de los profesionales a cargo interpretar estos gráficos y tablas y entregar oportunidades de mejora a la gerencia de obra. Panoram posee hardware: cámaras de video, servidores, computadores personales, discos duros, cables de transmisión de datos; y también posee software para el análisis de datos.

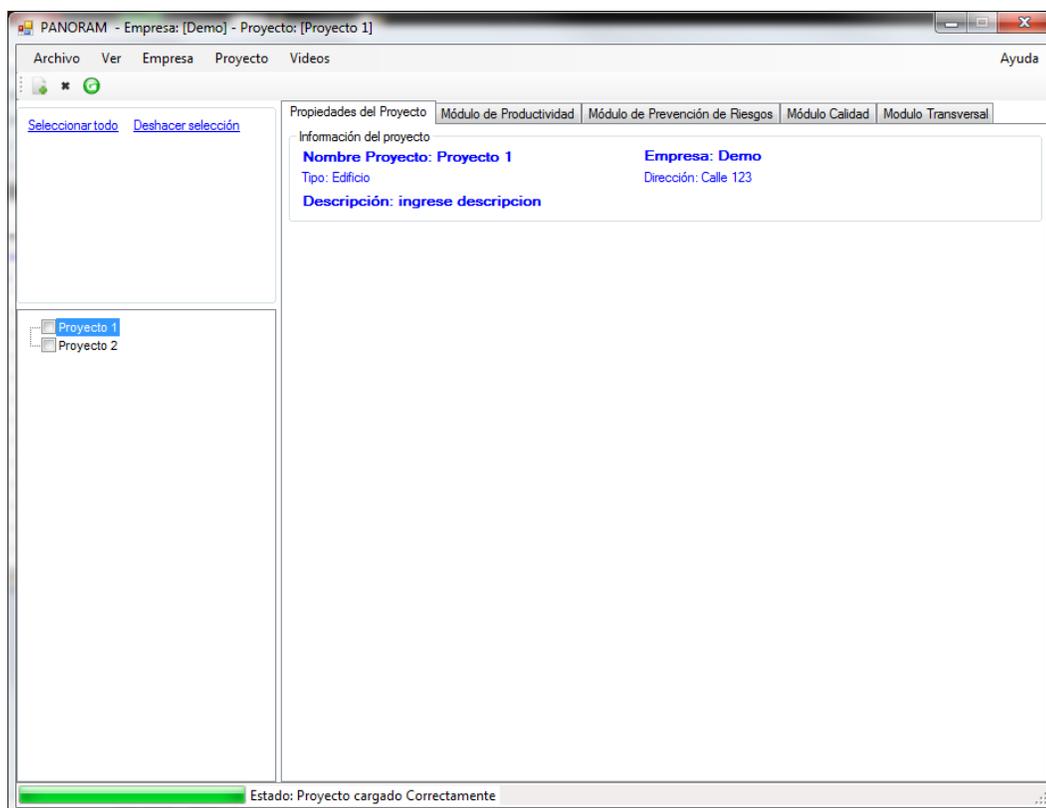


Figura 4: Interfaz de inicio del software Panoram.

Cuando se graba con una cámara fija en obra el traslado de los videos desde la cámara al servidor en obra se realiza mediante un cable. Desde el servidor en obra hasta el computador del profesional a cargo la información se puede trasladar a través de dos medios: puede ser por tecnología *wi-fi*, lo negativo de esto es su baja velocidad de traspaso y debido al peso de los videos esta tecnología no es viable por ahora. El otro medio de transporte es que un encargado vaya a terreno, retire el disco duro del servidor y lo lleve hasta la oficina del profesional a cargo de las mediciones, este método es viable y es el utilizado pero lo negativo de esto es el tiempo que toma ir a buscar los videos a obra y llevarlos hasta la oficina, no es un método eficiente.

Si se graba con una cámara de mano simplemente se traspasan los videos mediante un cable de información desde la cámara hasta el computador del profesional, lo negativo de este método es que debe haber un encargado durante todo el proceso grabando la faena y el comportamiento de los trabajadores se ve más alterado que si se ocupara una cámara fija.

El software de Panoram posee tres módulos: productividad, seguridad y calidad. Se explicarán los módulos de productividad y seguridad ya que son los utilizados en esta memoria.

## **3.2. Herramientas de productividad**

Se pueden realizar cuatro tipos de mediciones de productividad: medición de tiempos -también conocida como carta de balance o gráfico de balance-, muestreo del trabajo, ruta de grúa y control de avance. Se explicará cómo funcionan y qué resultados entregan la carta de balance, el muestreo del trabajo y la ruta de grúa modificada, que son las mediciones realizadas durante el desarrollo de este estudio.

### **3.2.1. Carta de balance**

#### **3.2.1.1. Descripción**

En Panoram la carta de balance es llamada medición de tiempos. Los pasos a seguir son:

- primero, a la medición se le debe asociar un video o una lista de videos -que será el observado para obtener la carta de balance- y la actividad medida (ver Figura 5), por ejemplo hormigonado de muro, enfierradura de losa, etc.,
- hecho esto se configura la medición, agregando, en primer lugar, el elemento -muro, losa, etc.-, entonces se listan los trabajadores que van a participar de la faena, previamente identificados mediante una rápida revisión del video, y,
- finalmente, se listan las tareas -vaciar, palear, transportar material, etc.-.

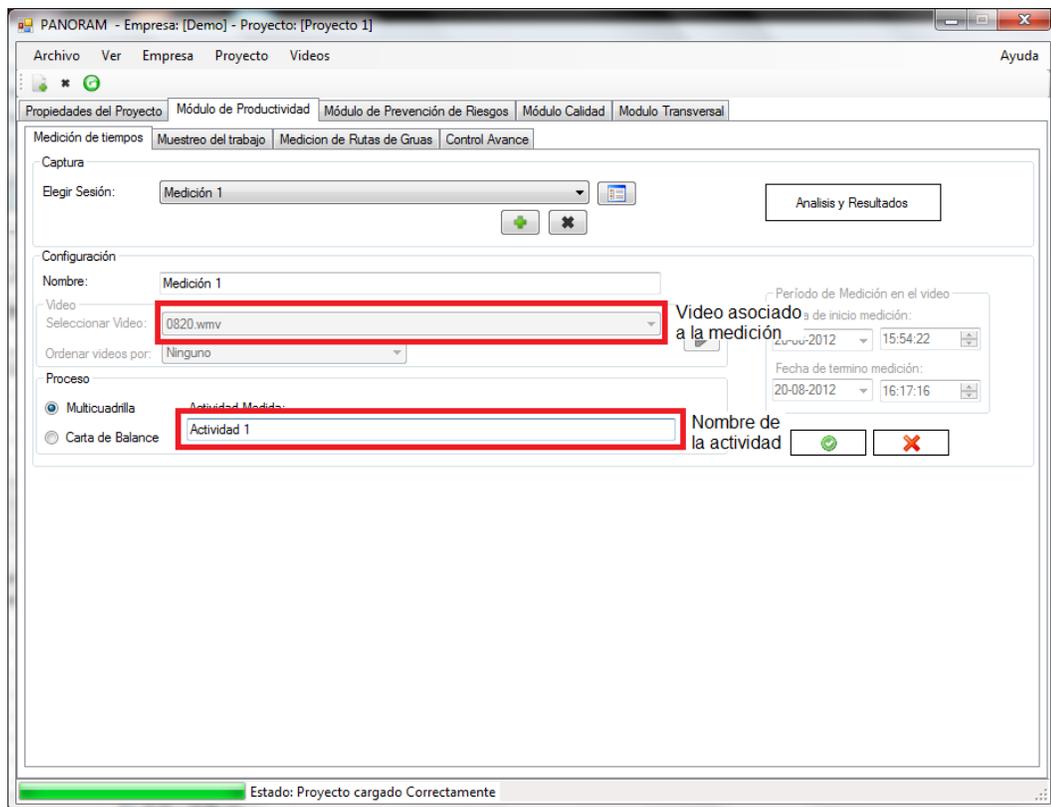


Figura 5: Interfaz de inicio del módulo carta de balance.

Cuando se termina la etapa anterior comienza la medición (ver Figura 6). El usuario debe presionar los botones para identificar qué actividad está realizando cada trabajador. Cuando el obrero está fuera de cámara o no se puede distinguir qué labor está haciendo no se debe tener ningún botón presionado entonces en la barra queda una parte de color plomo, que es el color de fondo, como se identifica en la Figura 6.

En los controles de video se puede aumentar o disminuir la velocidad de reproducción, siendo lo más rápido 8 veces la normal. Esta opción permite ahorrar tiempo aunque 8x es demasiado veloz y se dificulta la medición, lo aconsejable es que se ponga a 4x.



Figura 6: Interfaz para realizar una carta de balance en Panoram.

Una vez terminada la medición se va a la pestaña resultados para obtener gráficos y tablas: gráfico de nivel de actividad (ver Figura 7) -indica el porcentaje del tiempo dedicado por la cuadrilla a trabajo productivo, trabajo contributorio y trabajo no contributorio-, gráfico de nivel de actividad por tarea (ver Figura 8) -indica el porcentaje del tiempo dedicado por la cuadrilla a cada tarea definida en la medición-, tabla con la distribución de tiempos (ver Figura 9) -indica el detalle de la medición, cuánto tiempo utilizó cada trabajador en cada actividad, los porcentajes de trabajo productivo, trabajo contributorio y trabajo no contributorio de cada obrero y de la cuadrilla- y gráfico de balance (ver Figura 10) -es el gráfico que se construye durante la medición, indicando qué tarea realiza cada trabajador a través del tiempo-.

En este informe no se usa el gráfico de nivel de actividad porque se usan gráficos de barras para identificar el trabajo productivo, trabajo contributorio y no contributorio, en lugar del gráfico de torta que entrega Panoram. Tampoco se usa el de nivel de actividad por tarea ya que su apariencia no se considera óptima, los colores usados para cada barra y su nivel de definición no son los requeridos; y porque en el informe se usan gráficos con dos o más barras por tarea, para así poder comparar las distintas mediciones que se hicieron de la misma faena. Sí se usa la tabla con la distribución de tiempos y a partir de estos datos se hacen los gráficos anteriores. También se usa el gráfico de balance, con la salvedad que se borra el rendimiento ya que es un indicador que no se ha desarrollado de forma correcta.

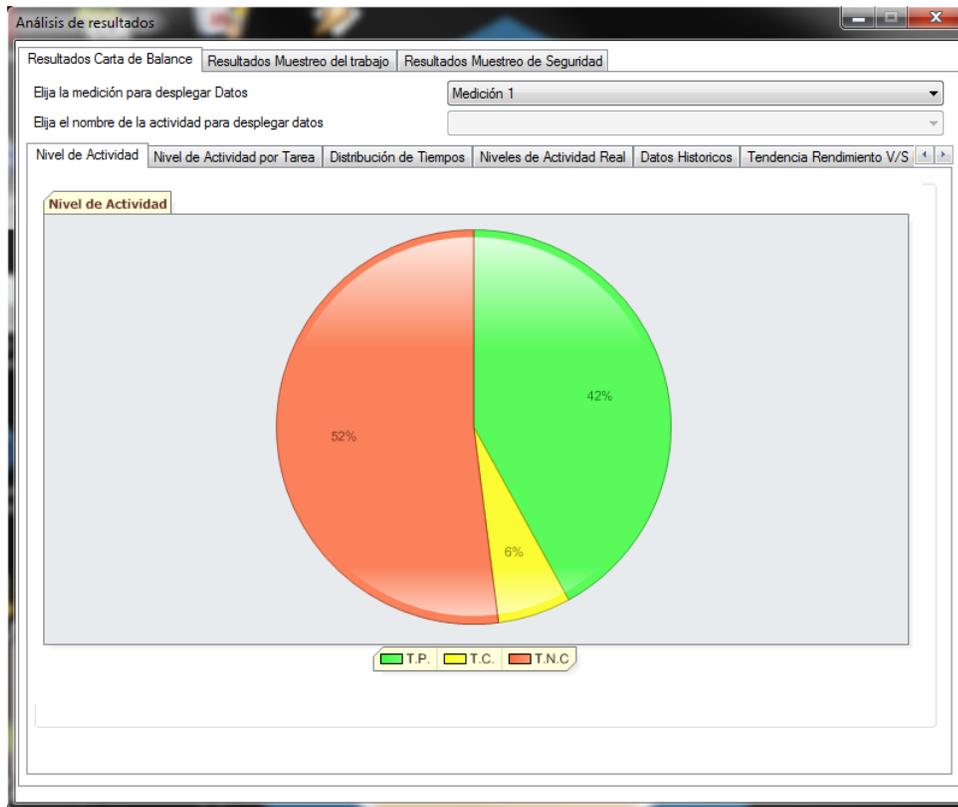


Figura 7: Resultado entregado por Panoram, nivel de actividad.

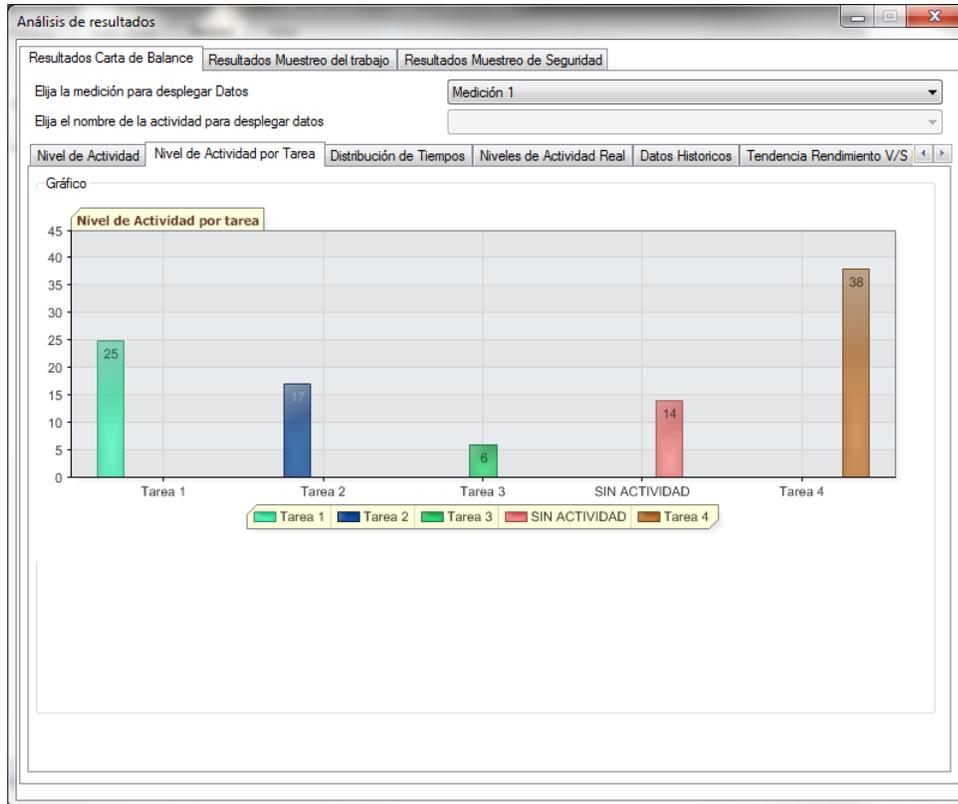


Figura 8: Resultado entregado por Panoram, nivel de actividad por tarea.

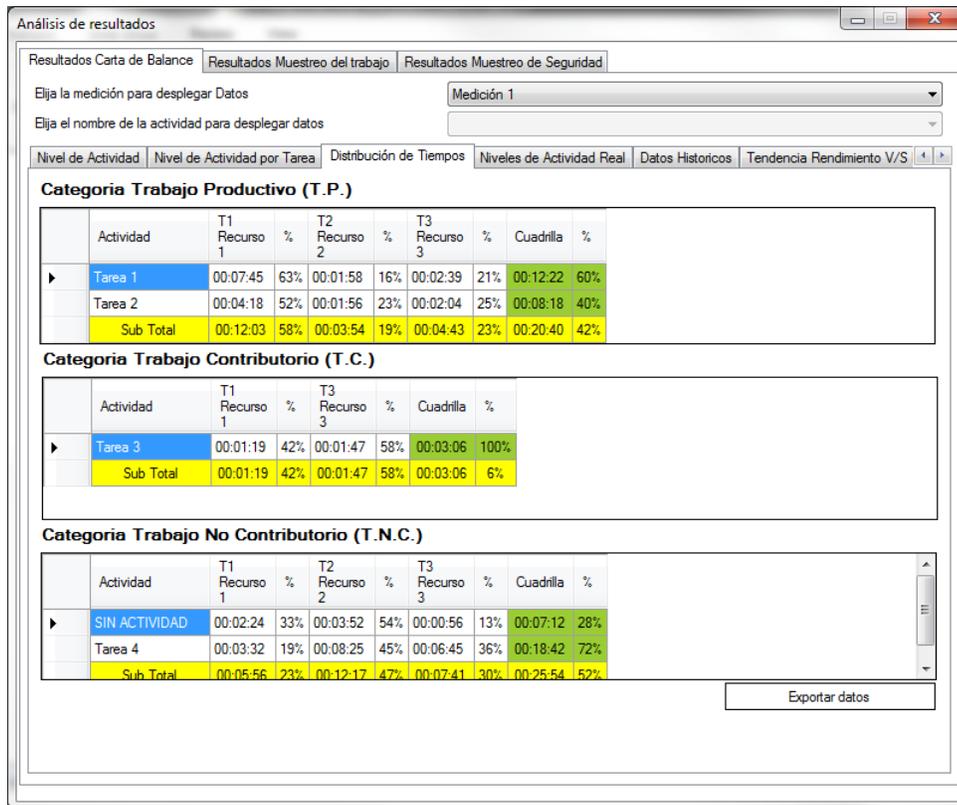


Figura 9: Resultado entregado por Panoram, distribución de tiempos.

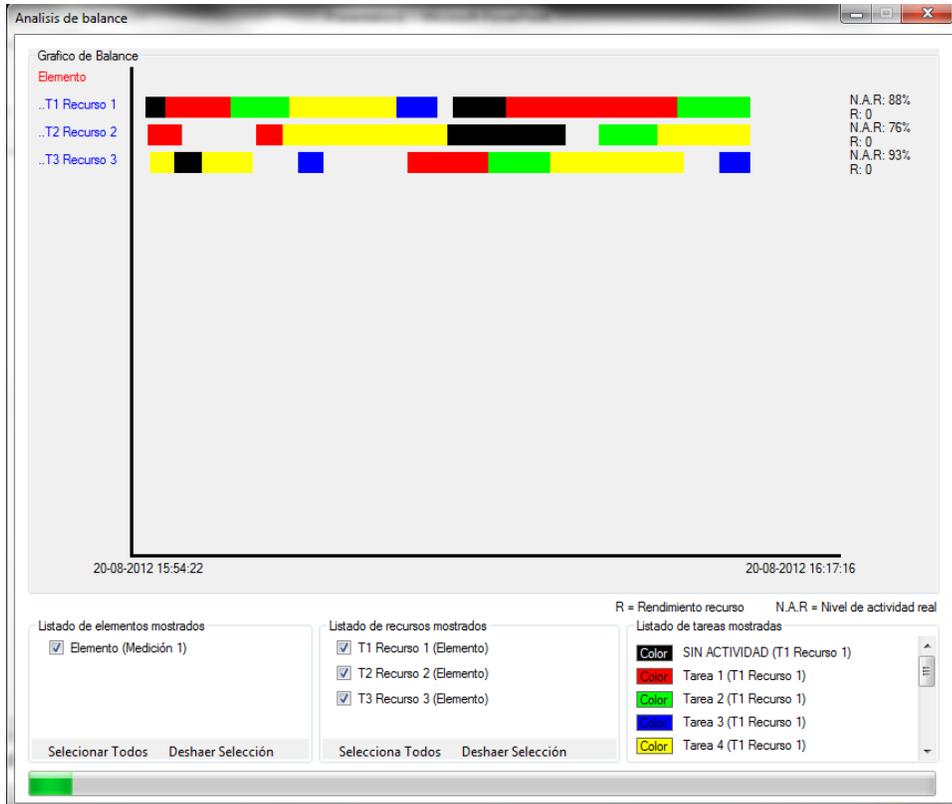


Figura 10: Resultado entregado por Panoram, gráfico de balance.

### 3.2.1.2. Lectura de gráficos

Cada barra de la carta de balance representa el comportamiento de un trabajador en el tiempo, por ejemplo, si se mide una faena con 6 trabajadores entonces la carta de balance debe tener 6 barras.

La descripción marcada en la Figura 11 -“T1 Recurso 1”- solo es para identificar a cada trabajador, puede ser algo tan simple como “T1” a algo más representativo como “T1 casco verde polera roja”. Esta descripción no tiene relación alguna con los colores de la carta de balance.

Cada color representa una tarea distinta. El color negro representa por defecto “Sin Actividad”, así está pre-configurado en el software, y el plomo indica cuando el trabajador está fuera de cámara y no es posible observar qué actividad está realizando, por eso se mantiene el plomo del fondo del gráfico, si el fondo fuese blanco entonces el blanco representaría que está fuera de cámara. Las tareas que representa cada color aparecen en la Figura 12.

La sigla N.A.R. que aparece a la derecha de cada barra es el nivel de actividad real de cada trabajador (Capítulo 2.2.1.2, p. 10) durante la faena medida. Abajo del gráfico, a la izquierda se muestra la fecha y hora del comienzo del primer video incluido en la medición, y a la derecha se muestra la fecha y hora de término del último video incluido en la medición.

Descripción del trabajo realizado por “T1 Recurso 1” a través del tiempo: Sin Actividad -negro-, Tarea 1 -rojo-, Tarea 2 -verde-, Tarea 4 -amarillo-, Tarea 3 -azul-, fuera de cámara -plomo-, Sin Actividad -negro-, Tarea 1 -rojo-, Tarea 2 -verde-.



Figura 11: Ejemplo de una carta de balance.



Figura 12: Correspondencia entre las tareas y los colores de la carta de balance.

### **3.2.1.3. Tareas definidas**

Las tareas definidas dependen de la faena medida, durante el desarrollo del estudio se hicieron cartas de balance de hormigonado de losa, hormigonado de muro, enfierradura de losa, instalación de mallas de muro -en casas de albañilería- y colocación de moldaje de losa. Pero en el informe solo se incluyen mediciones sobre hormigonado, tanto de muro como de losa, y las tareas que se definieron fueron:

- Vaciar (trabajo productivo): mover el tubo rígido cuando se hormigona la losa y la manga flexible cuando se trata de un muro, ambos casos son cuando se utiliza una bomba. Si se usan carretillas para transportar el hormigón -método conocido como “carreras”- entonces el vaciado se hace con pala.
- Vibrar (trabajo productivo): usar y mover el vibrador.
- Palear (trabajo productivo): usar una pala para esparcir y mover el hormigón por la losa.
- Nivelar/Reglear (trabajo productivo): dejar a ras el hormigón, es el paso que viene después del paleo. Se le da el grosor necesario a la losa.
- Transportar hormigón (trabajo contributorio): usar una carretilla para llevar el material desde el camión-mixer hasta el muro.
- Preparación/Otros (trabajo contributorio): dentro de esta categoría caen actividades como: sostener el motor del vibrador, llenar carretillas con hormigón del camión-mixer, transporte de material, entre otras.

### **3.2.2. Muestreo del trabajo**

#### **3.2.2.1. Descripción**

En la Figura 13 se observa la interfaz de configuración de este módulo. Se deben escoger las categorías de actividades: trabaja - no trabaja, productivo - contributorio - no contributorio, o personalizado, en esta última se puede identificar, por ejemplo, a que cuadrilla pertenece el trabajador que está siendo observado. También se debe escoger el nivel de confianza necesario y el límite de error, hay 10 combinaciones posibles, cada una con un número de muestras mínimas asociado (ver Tabla 3). Y, finalmente, se elige el video, o lista de videos, que se desea medir.

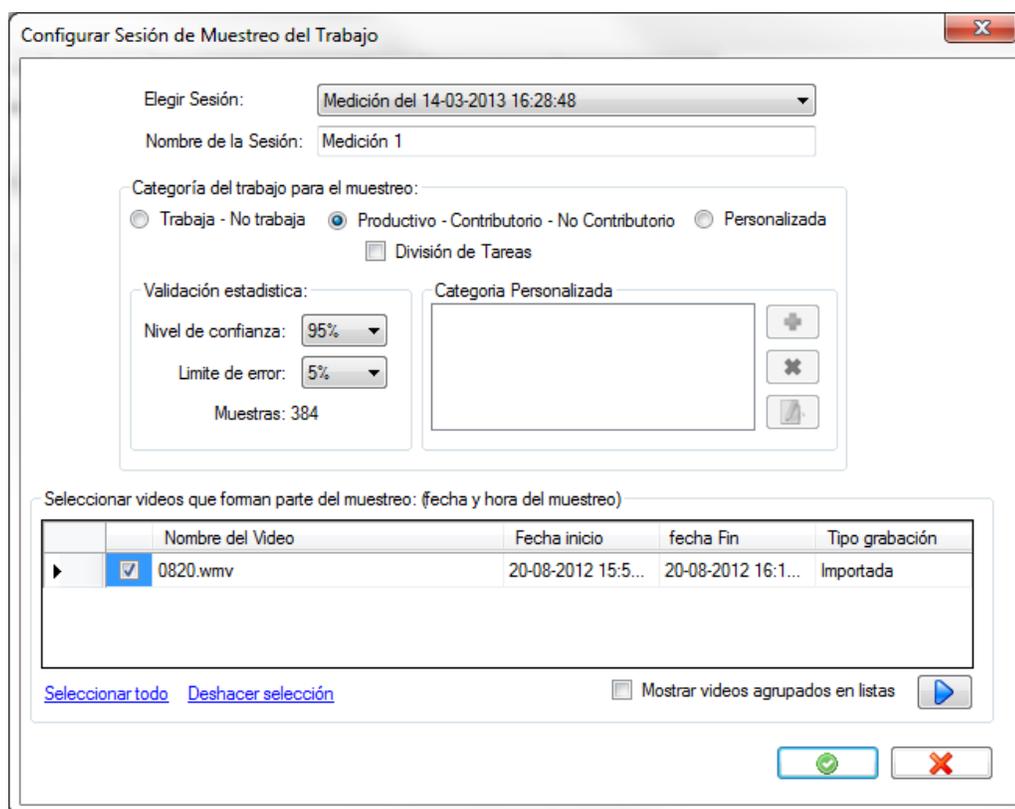


Figura 13: Interfaz para configurar la medición de muestreo del trabajo.

Nivel de confianza	Límite de error				
	1%	3%	5%	7%	10%
95%	9600	1067	384	196	96
90%	6763	751	270	138	68

Tabla 3: Muestras mínimas necesarias para muestreo del trabajo.

En la medición (ver Figura 14) se reproducen intervalos aleatorios del video de 10 segundos de duración cada uno. El usuario debe identificar el tipo de actividad que está realizando cada trabajador, una vez identificados todos los trabajadores presentes en el clip se pasa al siguiente. Cuando se completan las muestras mínimas, dados el nivel de confianza y el límite de error, aparece un mensaje avisando que se ha llegado al número de muestras necesario.

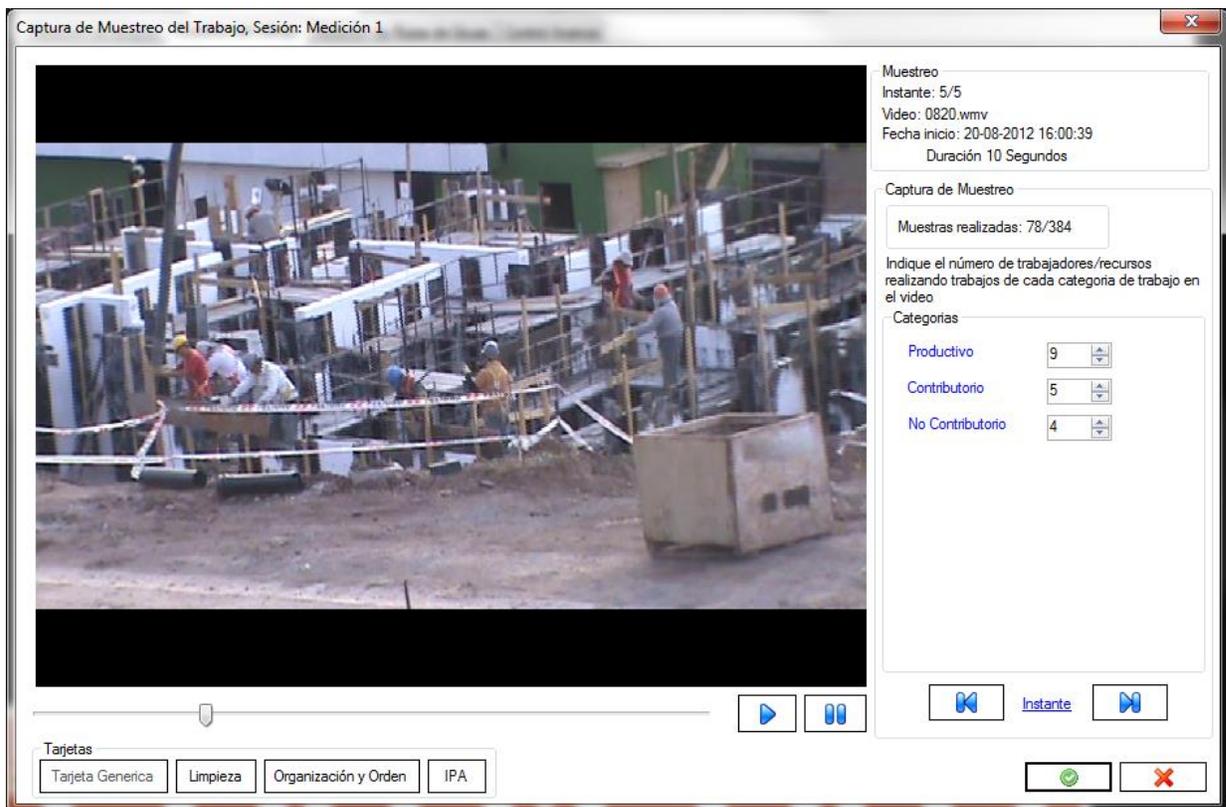


Figura 14: Interfaz para medir mediante muestreo del trabajo en Panoram.

Los resultados entregados por Panoram son: tabla y gráfico con el nivel de actividad general de la obra, es decir, el promedio de todos los muestreos de trabajo - indica el porcentaje de tiempo que se utilizó en trabajo productivo, contributorio y no contributorio de la obra-; (ver Figura 15) y tabla y gráficos individuales de cada medición y fecha -indican el porcentaje de tiempo que se utilizó en trabajo productivo, contributorio y no contributorio de cada fecha y medición- (ver Figura 16).

A pesar de que se realizan muestreos del trabajo durante el curso de este trabajo no se incluyen en él porque sus resultados no llevan a ningún caso de mejora. El muestreo sirve para conocer el nivel de actividad real de una obra pero no para identificar de forma clara y precisa las causas que producen pérdidas de productividad.

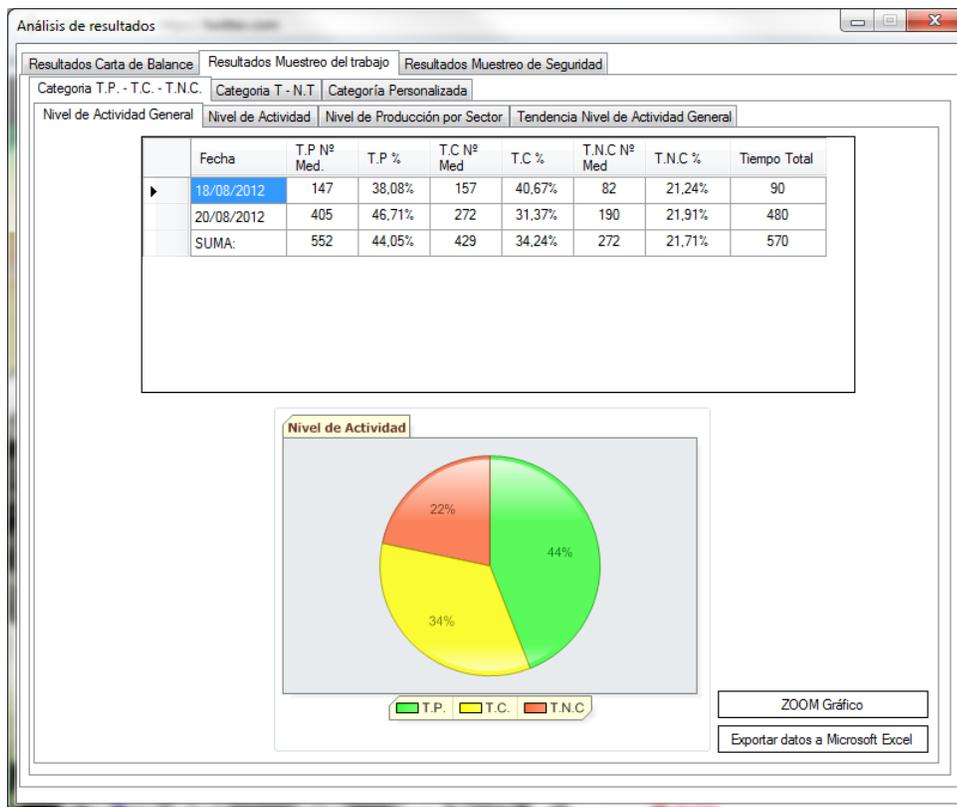


Figura 15: Resultado entregado por Panoram, nivel de actividad general de la obra.

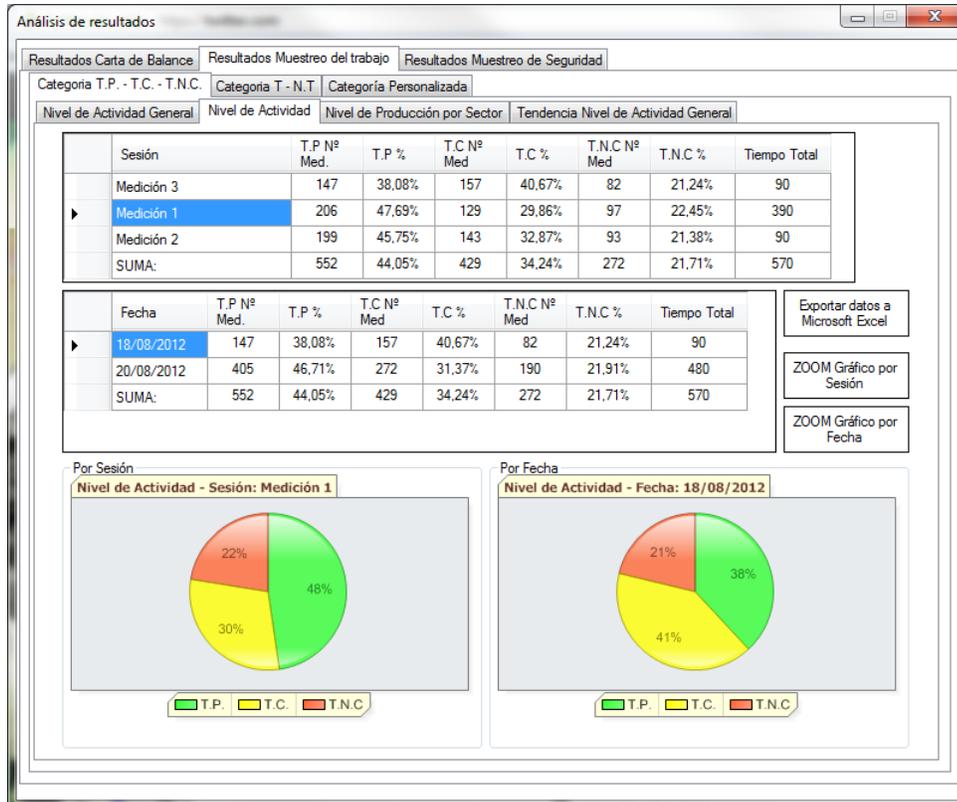


Figura 16: Resultado entregado por Panoram, nivel de actividad por fecha y sesión.

### 3.2.3. Ruta de grúa

#### 3.2.3.1. Descripción

Este módulo no se encuentra en funcionamiento, cuando se configura se muestra un error (ver Figura 17) y no es posible seguir adelante. Por este motivo se decidió usar el módulo de cartas de balance para realizar las rutas de grúas.

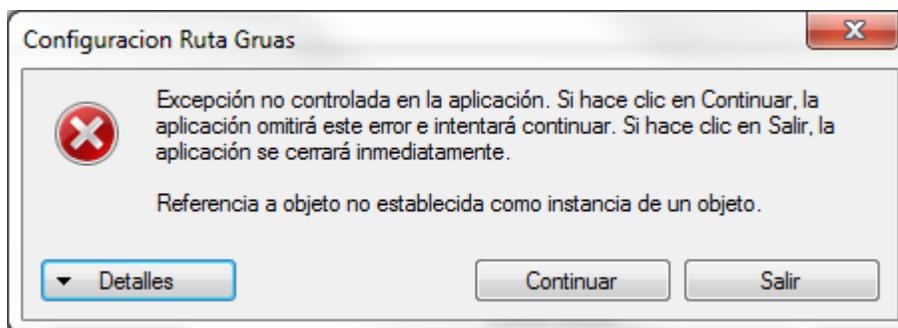


Figura 17: Error al intentar configurar la medición de rutas de grúas.

En las tres primeras mediciones -5, 7 y 9 de marzo- no se editaron los videos por lo que las barras de las rutas de grúas quedaron muy pequeñas -el tiempo medido fue de 2 a 3 horas sobre una línea temporal de 11 horas-, perdiendo la utilidad de ser una ayuda visual para el análisis de la situación.

En las primeras 19 mediciones se utilizó la configuración que se observa en la Figura 18, con cuatro barras (ver explicación en Capítulo 3.2.3.2, p. 27). Esta adaptación fue discutida y pensada junto a una trabajadora de GEPUC y encargada de Panoram en los primeros meses de 2012.

En las últimas mediciones que se hicieron -desde el 14 de mayo- este sistema varió y se creó una ruta de grúa con una sola barra con las siguientes actividades: tiempo muerto sin carga, movimiento sin carga, preparación/enganche y los distintos materiales (ver Figura 19).



Figura 18: Configuración utilizada para rutas de grúas en las primeras mediciones.

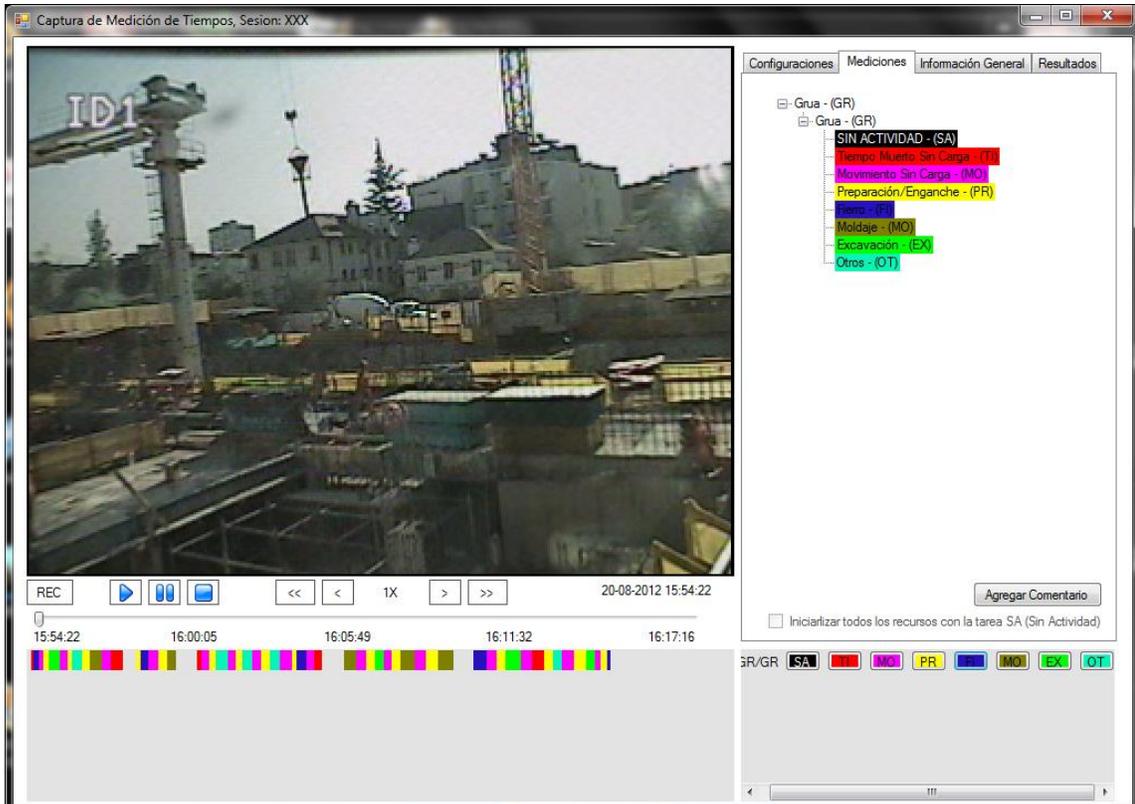


Figura 19: Configuración utilizada para rutas de grúas en las últimas mediciones.

### 3.2.3.2. Lectura de gráficos

El módulo de rutas de grúas no funciona por lo que se adaptó la carta de balance para poder medir el comportamiento de la grúa.

En las primeras 19 mediciones incluidas en el estudio se usó una carta de balance con cuatro barras (ver Figura 20), cada una de ellas representa distintos estados de la grúa:

- La primera barra (ver Figura 21) indica cuando la grúa está en movimiento transportando material. Cada color representa un material distinto.
- La segunda barra (ver Figura 22) indica distintas tareas que no se pueden asociar a materiales:
  - o Preparación/Enganche es cuando la grúa está quieta esperando que los trabajadores preparen y enganchen la carga, no se puede asociar a un material porque la ubicación de la cámara y la geometría de la obra hacían imposible ver qué se estaba preparando para ser transportado (ver Figura 25).
  - o Movimiento sin carga es cuando la grúa está en movimiento pero sin material enganchado.
  - o Tiempo muerto sin carga es cuando la grúa está quieta sin material enganchado.
- La tercera barra (ver Figura 23) indica el tiempo muerto con carga. La grúa está quieta con material enganchado, esto puede ocurrir, por ejemplo, si se está esperando que los trabajadores despejen la zona donde se va a depositar la carga.
- La cuarta barra (ver Figura 24) indica el sostenimiento. La grúa sostiene el moldaje o la estructura de fierro para que los trabajadores los instalen.

Cada color representa un material o una tarea distinta. El color negro muestra que la barra correspondiente está “apagada”, es decir, no se está realizando acción alguna correspondiente a esa barra. Por cómo está configurado, si se superponen las cuatro barras, nunca un color -distinto del negro- se va a topar con otro.

Para ejemplificar, se “leerán” los primeros minutos de la Figura 20: transporte de fierro -amarillo en la primera barra-, movimiento sin carga -celestes en la segunda barra-, preparación/enganche -rosado en la segunda barra-, transporte de otros -rojo en la primera barra-, tiempo muerto con material -rojo en la tercera barra-, transporte de otros -rojo en la primera barra-, tiempo muerto sin carga -verde en la segunda barra-, etc.

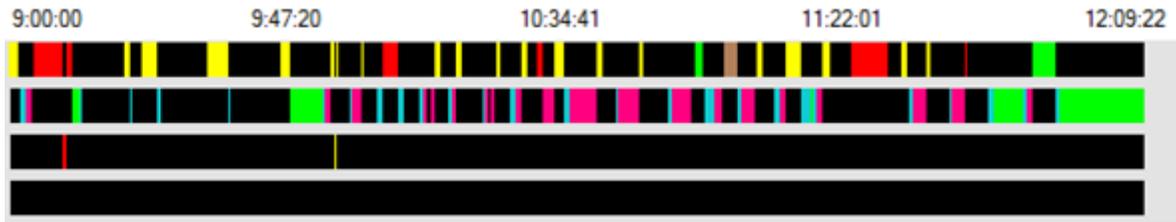


Figura 20: Ejemplo de una ruta grúa (1).

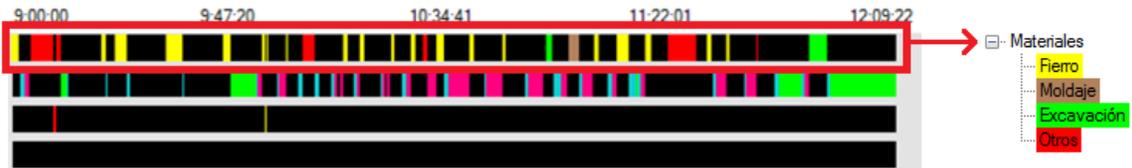


Figura 21: Barra que representa el movimiento con carga.

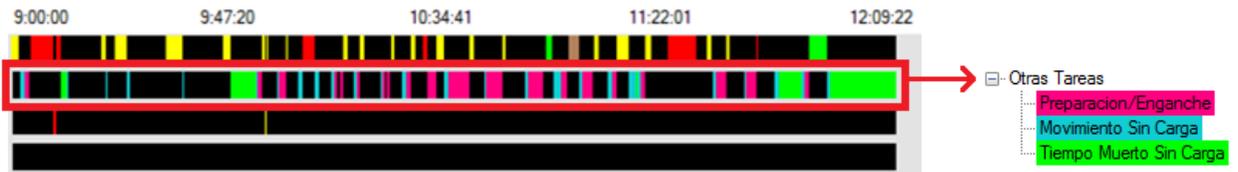


Figura 22: Barra que representa a las tareas que no se pueden asociar a materiales.

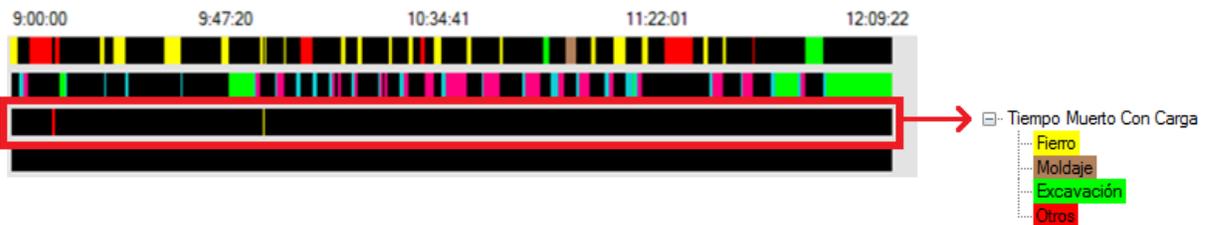


Figura 23: Barra que representa el tiempo muerto con carga.

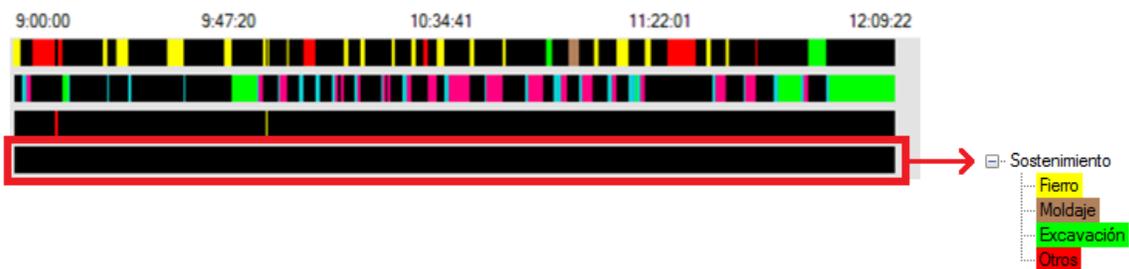


Figura 24: Barra que representa el sostenimiento de materiales.

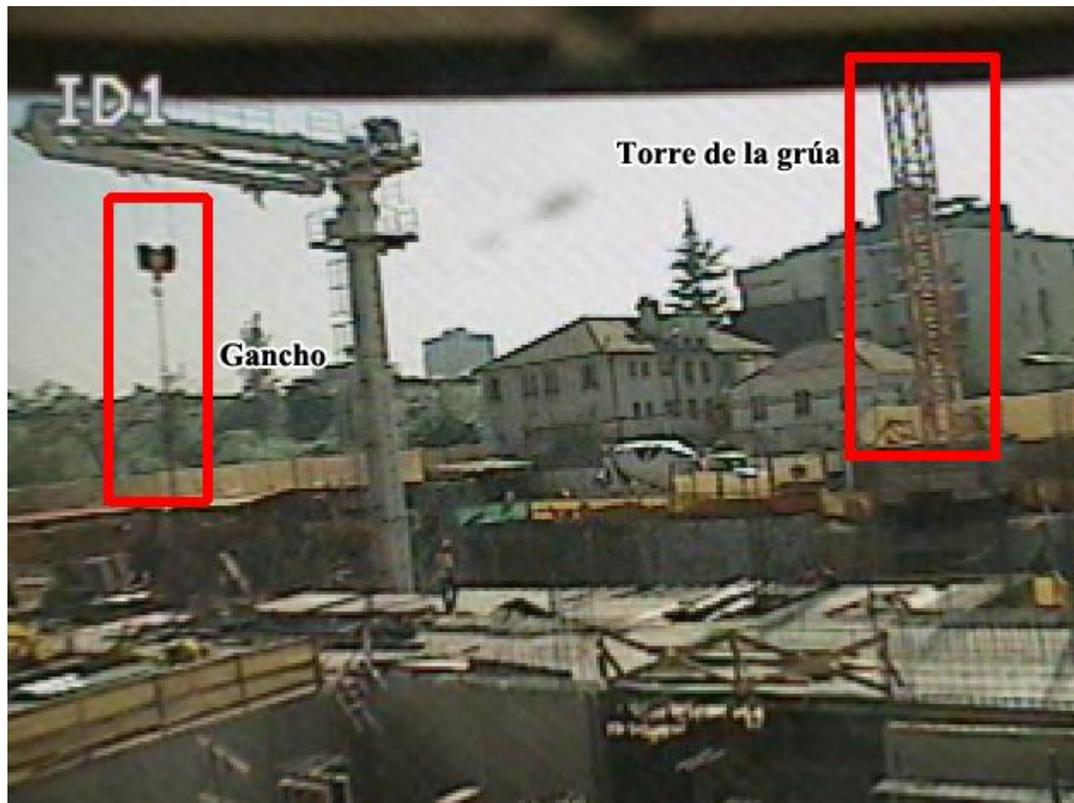


Figura 25: Visión e identificación de la grúa.

En las siguientes 16 rutas de grúas incluidas en el estudio, mediciones realizadas por un ingeniero civil, trabajador de GEPUC, se cambió la forma de medir. En lugar de las cuatros barras anteriores, se tiene una sola barra donde se incluyen:

- Tiempo muerto sin carga: la grúa está quieta sin material enganchado.
- Movimiento sin carga: la grúa está en movimiento pero sin material enganchado.
- Preparación/Enganche: la grúa está quieta esperando que los trabajadores preparen y enganchen la carga, no se puede asociar a un material porque la ubicación de la cámara y la geometría de la obra hacían imposible ver qué se estaba preparando para ser transportado.
- Fierro: este material es transportado o está siendo sostenido.
- Moldaje: este material es transportado o está siendo sostenido.
- Excavación: este material es transportado.
- Otros: este material es transportado.

El plomo indica que la grúa está fuera de cámara, el plomo es el color de fondo del gráfico.

Para ejemplificar, se “leerán” los primeros minutos de la Figura 26: transporte de moldaje -oliva-, preparación/enganche -amarillo-, movimiento sin carga -rosado-,

preparación/enganche -amarillo-, moldaje -oliva-, preparación/enganche -amarillo-, movimiento sin carga -rosado-, grúa fuera de cámara -plomo-, etc.



Figura 26: Ejemplo de una ruta grúa (2).



Figura 27: Correspondencia entre las tareas y los colores de la ruta de grúa.

### 3.3. Herramientas de seguridad

Hay cuatro módulos disponibles en cuanto a seguridad: 5S+IPA, pictogramas, muestreo de seguridad y probabilidad de ocurrencia de accidentes -en inglés, conocida como *likelihood of accidents*-. Se explicará cómo funcionan y qué resultados entregan 5S+IPA y el muestreo de seguridad, que son los módulos usados durante el desarrollo de este estudio.

#### 3.3.1. 5S + IPA

##### 3.3.1.1. Descripción

Esta herramienta no se utiliza para obtener un índice sobre las acciones y condiciones sub-estándares sino que solo se utiliza para crear tarjetas que muestran estas situaciones. Para tener un indicador sobre la seguridad en la obra se usa el muestreo de seguridad.

5S + IPA funciona asociando un video a la medición y durante el video se van identificando las distintas condiciones y acciones que requieren ser corregidas para mejorar la seguridad. Las tarjetas son para alertar de la situación a la gerencia de la obra y que estos tomen cartas en el asunto, por ejemplo, si se ven tarjetas con trabajadores sin cuerda de vida deben prestar más atención a esto.

Existen tres opciones de tarjetas: organización y orden (ver Figura 28), limpieza (ver Figura 29) e I.P.A. -condiciones y acciones sub-estándar- (ver Figura 30). Se identifica con un rectángulo blanco la situación.

Tarjeta Organización y Orden N° 1, ocurrida: 20-08-2012 19:55:48, detectada: 17-03-2013 22:16:48

Información General

**Tarjeta N°: 1** Ocurrida: 20-08-2012 19:55:48  
Detectada: 17-03-2013 22:16:48  
[Sector Preseleccionado: Nuevo Sector del proyecto](#)

Encargado

Ingrese el nombre del encargado:

Información de la tarjeta

Nombre elemento:

Este elemento

No es necesario

Tener en área de "preeliminación"

Desechar el elemento ¿Dónde?

Es necesario pero no en esta cantidad

Aumentar en:

Disminuir en:

Es necesario pero no en esta ubicación

Mover a:

Otra Inconformidad

Tarjeta Cumplida

Cancelar Guardar Tarjeta

Figura 28: Tarjeta de organización y orden en Panoram.

Tarjeta Limpieza N° 1, ocurrida: 20-08-2012 20:08:00, detectada: 17-03-2013 22:18:26

Información General

**Tarjeta N°: 1** Ocurrida: 20-08-2012 20:08:00  
Detectada: 17-03-2013 22:18:26  
[Sector Preseleccionado: Nuevo Sector del proyecto](#)

Encargado

Ingrese el nombre del encargado:

Información de la tarjeta

Inconformidad

Hay un elemento sucio

Nombre:

¿Qué hacer?

Hay una situación que genera suciedad

Nombre:

¿Qué hacer?

Otra inconformidad

Tarjeta Cumplida

Cancelar Guardar Tarjeta

Figura 29: Tarjeta de limpieza en Panoram.

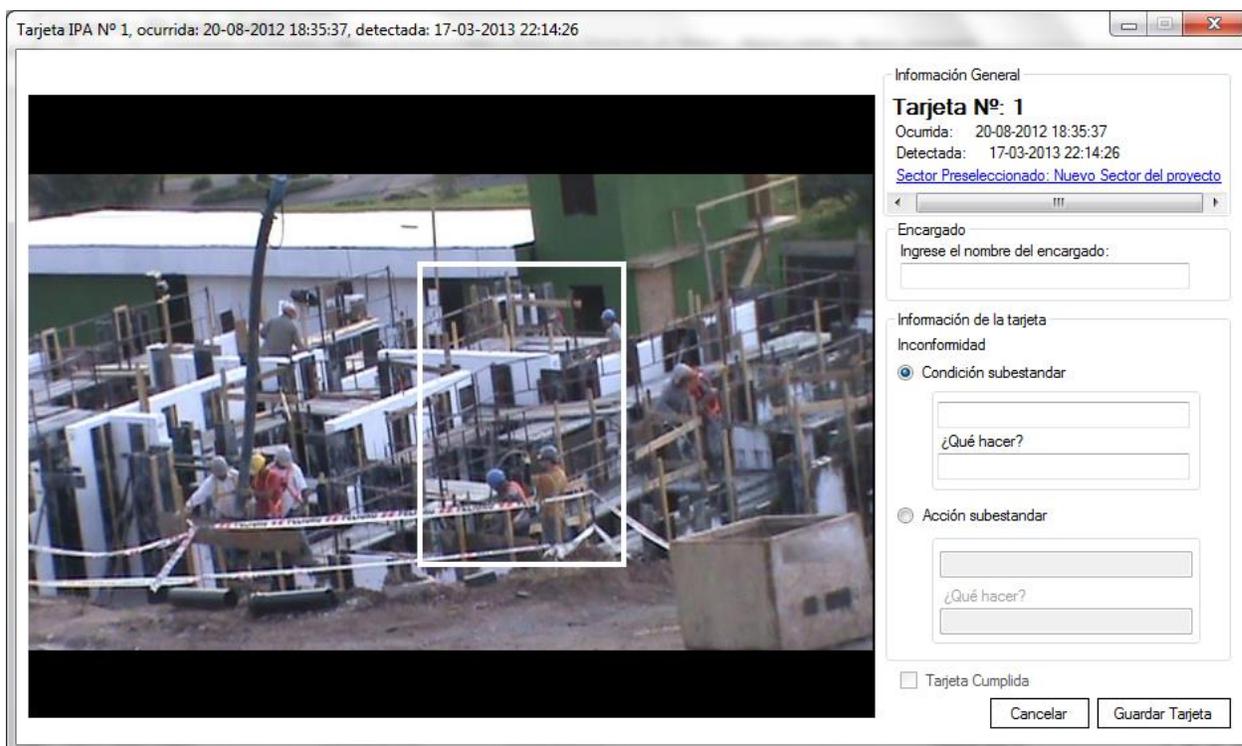


Figura 30: Tarjeta I.P.A. en Panorám.

### 3.3.2. Muestreo de seguridad

#### 3.3.2.1. Descripción

En la Figura 31 se observa la interfaz de configuración de este módulo. Se deben escoger las categorías de trabajo: seguro - no seguro, o personalizado, en esta última se puede identificar, por ejemplo, a que cuadrilla pertenece el trabajador que está siendo observado. También se debe escoger el nivel de confianza necesario y el límite de error, hay 10 combinaciones posibles, cada una con un número de muestras mínimas asociado (ver Tabla 4). Y, finalmente, se elige el video, o lista de videos, que se desea medir.

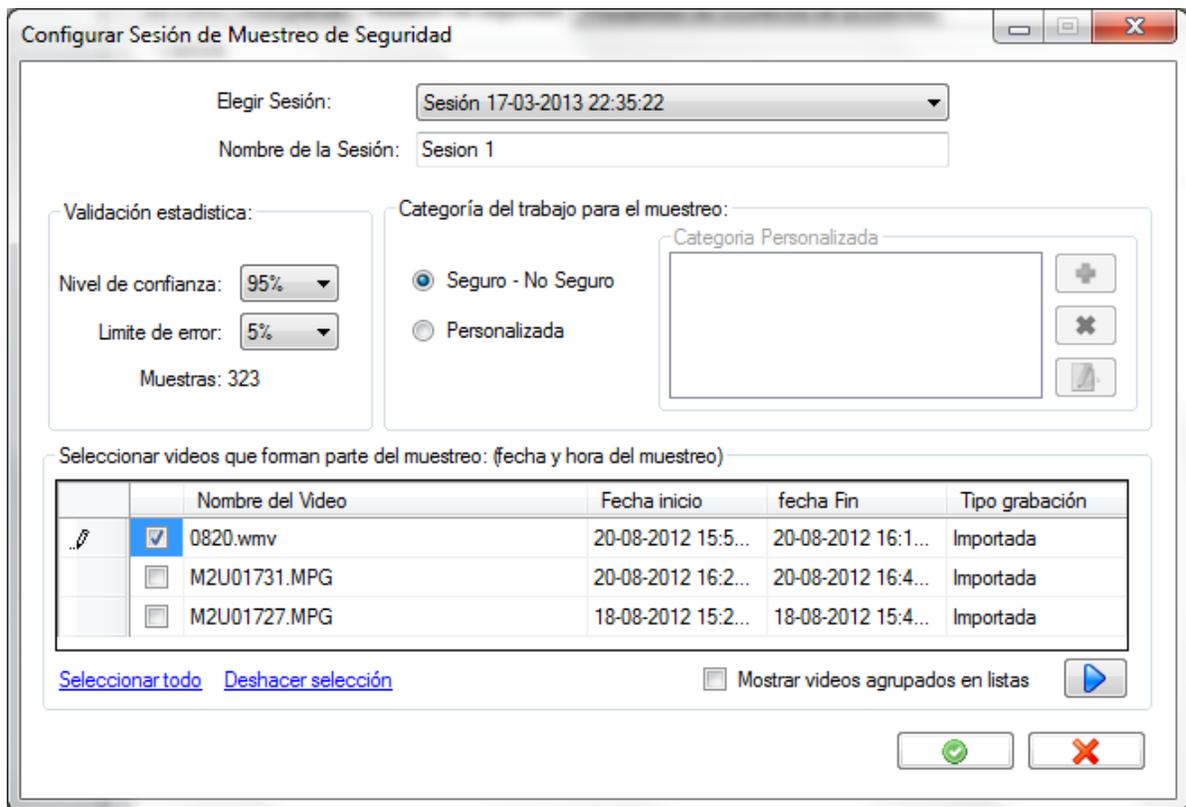


Figura 31: Interfaz para configurar la medición de muestreo de seguridad.

Nivel de confianza	Límite de error				
	1%	3%	5%	7%	10%
95%	8067	896	323	165	81
90%	5682	631	227	116	57

Tabla 4: Muestras mínimas necesarias para muestreo de seguridad.

En la medición (ver Figura 32) se reproducen intervalos aleatorios del video de 10 segundos de duración cada uno. El usuario debe identificar si el trabajo realizado por cada uno de los obreros es seguro o no seguro, una vez identificados todos los trabajadores presentes en el clip se pasa al siguiente. Cuando se completan las muestras mínimas, dados el nivel de confianza y el límite de error, aparece un mensaje avisando que se ha llegado al número de muestras necesario.

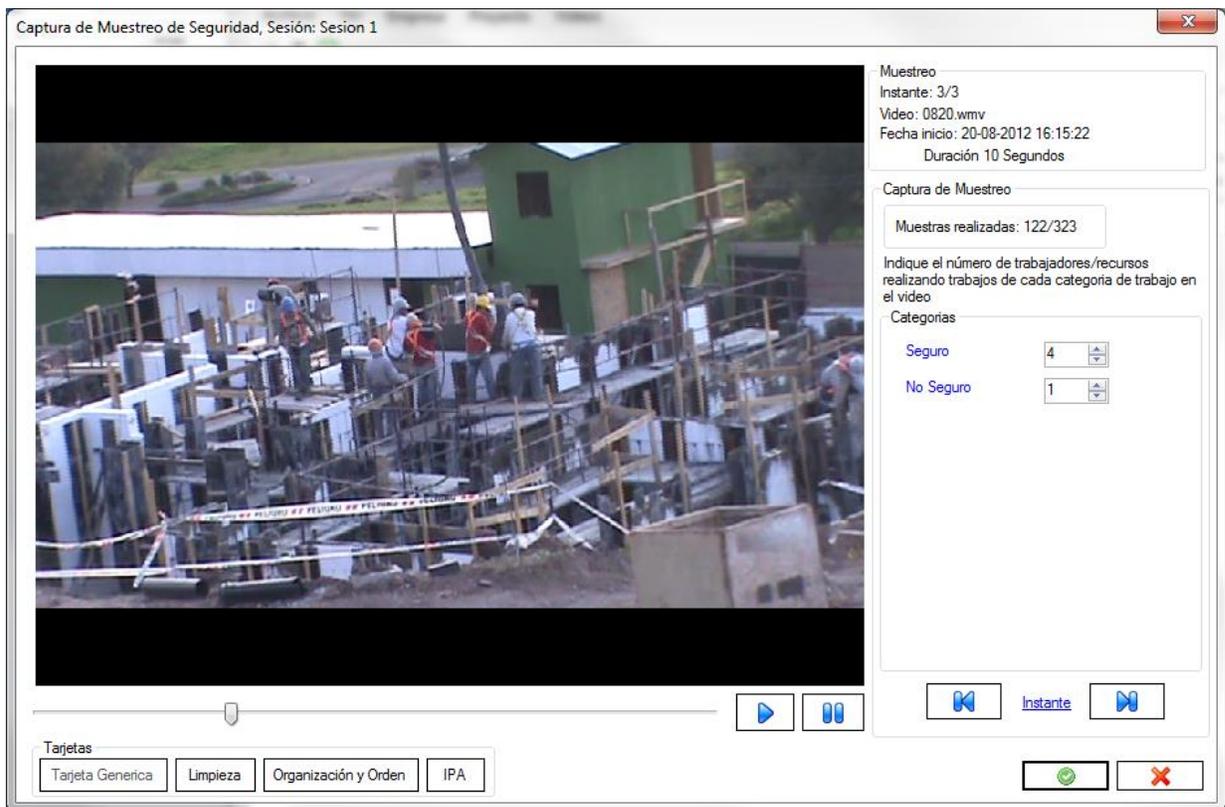


Figura 32: Interfaz para medir mediante muestreo del seguridad en Panoram.

Los resultados entregados por Panoram son: tabla y gráfico con el nivel de actividad general de la obra, es decir, el promedio de todos los muestreos de seguridad; (ver Figura 33) y tabla y gráficos individuales de cada medición y fecha (ver Figura 34).

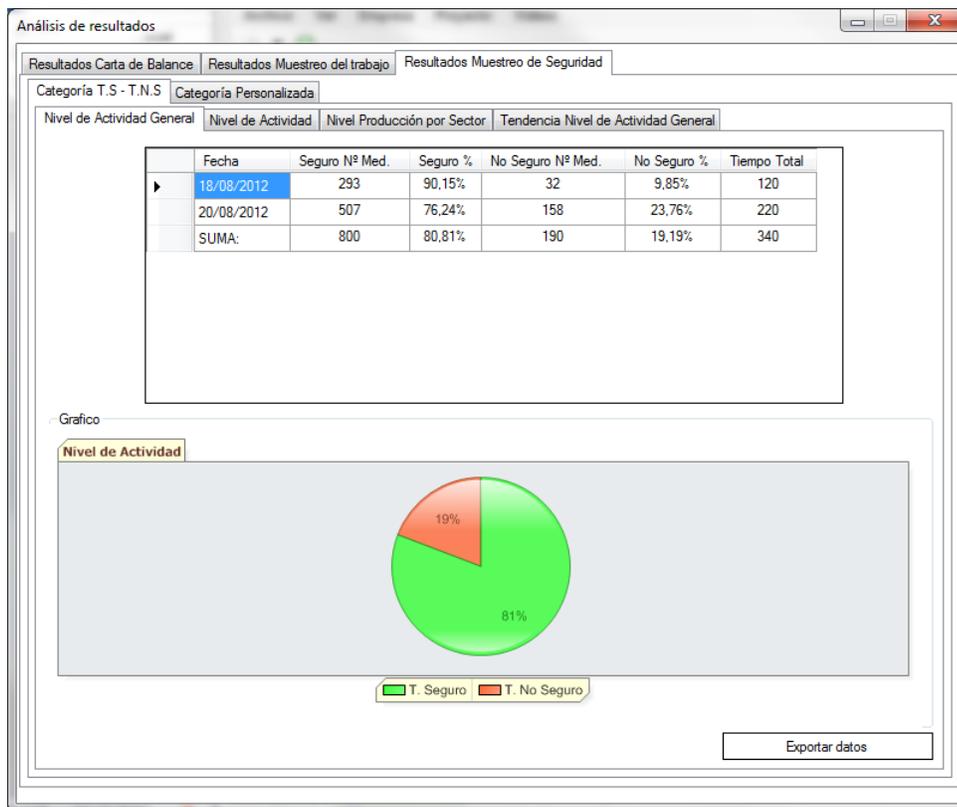


Figura 33: Resultado entregado por Panoram, nivel de seguridad general de la obra.

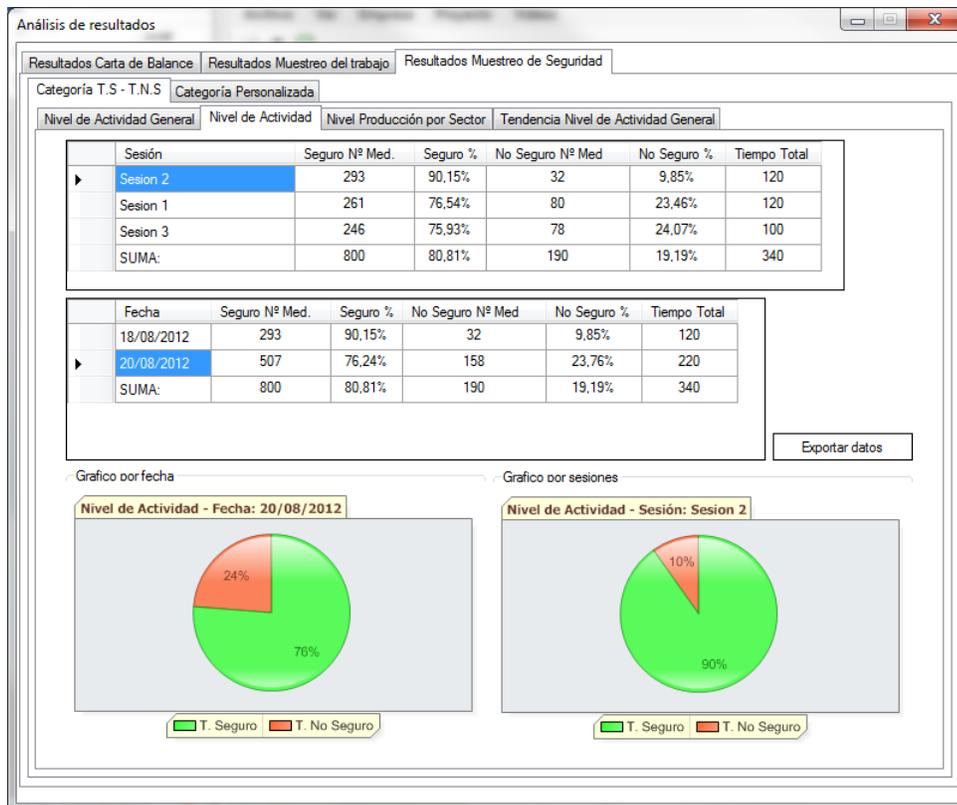


Figura 34: Resultado entregado por Panoram, nivel de seguridad por fecha y sesión.

### 3.4. Observaciones sobre la velocidad de medición

Con los valores presentes en la Tabla 5 y Tabla 6 se calcularon los tiempos necesarios para cada caso presente en el informe, y se compararon los tiempos usados con el sistema Panoram con los tiempos que se usarían en el método manual. El método manual se considera aquel que no utiliza videos digitales sino la observación en terreno.

Para obtener los tiempos que tomaba hacer cada medición en Panoram solo se tomó en consideración el tiempo necesario para la captura de datos, ya que el tiempo de configuración es similar entre el método manual y el método con videos digitales, y el tiempo de análisis se consideró cero porque Panoram entrega automáticamente gráficos y tablas.

#### Carta de balance y ruta de grúa

Se consideró que para realizar la medición manual tomaba 30 minutos hacer el análisis de cada carta de balance o ruta de grúa, se tomó este valor de De St. Aubin (2008, p. 102). En Panoram, como se medían 2 trabajadores en cada reproducción es necesario explicar la función techo (presente en la Tabla 5):

$$[x] = \min\{k \in \mathbb{Z} \mid x \leq k\}$$

Si se tiene una cuadrilla de más de 8 trabajadores, el tiempo de captura de datos se duplicaría en el método manual porque una persona no puede muestrear a más de 8 trabajadores a la vez (Serpell, 2002, p. 185). También hay que considerar que en la carta de balance manual, la frecuencia de las observaciones es menor que en Panoram, pudiendo tener intervalos entre 1 y 5 minutos, en cambio, en Panoram se hacen observaciones cada segundo.

	Duración de la faena	Tamaño de la cuadrilla	Velocidad de reproducción	Tiempo de captura	Tiempo de análisis	Tiempo total
Medición con Panoram	T	N	$Yx$	$\frac{T \cdot \lceil \frac{N}{2} \rceil}{Y}$	0	$\frac{T \cdot \lceil \frac{N}{2} \rceil}{Y}$
Método manual	T	N	$1x$	T	30 min	T + 30 min

Tabla 5: Tiempos de medición de cartas de balance y rutas de grúas, sistema Panoram vs. método manual.

## Muestreo de seguridad.

Se considera que para realizar la medición manual toma 30 minutos hacer el análisis de cada muestreo de seguridad, se tomó este valor de De St. Aubin (2008, p. 93). Para la medición con Panoram se considera que demora 20 segundos tomar 3 muestras, y tomando un límite de error de 5% y un nivel de confianza de 95%, entonces se demora 36 minutos en obtener las 323 muestras necesarias (ver Ecuación 1), independiente de la longitud del intervalo de tiempo muestreado (ver Tabla 6).

$$\frac{323 \text{ [muestras]}}{\frac{3 \text{ [muestras]}}{20 \text{ [segundos]}}} = 2153,33 \text{ [segundos]} = 35,89 \text{ [min]} \cong 36 \text{ [min]}$$

Ecuación 1: Tiempo necesario para realizar un muestreo de seguridad en Panoram.

	Período muestreado	Tiempo de captura de un muestreo	Tiempo de análisis de resultados	Tiempo total
Medición con Panoram	50 min	36 min *	0	36 min
	300 min	36 min *	0	36 min
	x min	36 min *	0	36 min
Método manual	50 min	50 min	30 min	80 min
	300 min	300 min	30 min	330 min
	x min	x min	30 min	(x + 30) min

Tabla 6: Tiempos de muestreos de seguridad, sistema Panoram vs. método manual.  
(De St. Aubin, 2008, p. 93).

\* Considerando que toma 20 segundos realizar 3 muestras.

#### **4. CASOS CON MEJORAS POTENCIALES**

En este capítulo se presentarán casos donde la gerencia de obra no llevó a cabo las oportunidades de mejora sugeridas por el equipo de GEPUC y que se consideran oportunidades de mejora claras y aplicables. Los casos escogidos son aquellos donde se consideró que había una mejora potencial importante y la aplicación de la corrección no tenía mayor dificultad.

Son 3 casos los que se presentan:

- 3 casos de productividad.
- En los 3 se realizaron cartas de balance.
- 1 fue obtenidos del Proyecto 1, otro del Proyecto 2 y otro del Proyecto 3.

En cada caso se entrega información sobre

- las mediciones realizadas -cartas de balance-, sus resultados,
- las oportunidades de mejora sugeridas a la gerencia de obra,
- el impacto potencial de esto y,
- finalmente, una comparación entre las horas hombre necesarias para llevar a cabo las mediciones con Panoram con las horas hombre necesarias si se hubiese medido de forma manual.

Los casos se presentan en orden cronológico, el primero en ser analizado es donde se hizo la primera medición. Al final del capítulo hay un resumen de todos los casos presentados (p. 55).

## 4.1. Caso Alfa, productividad

### 4.1.1. Antecedentes previos

A continuación se presentan el proceso medido, el nombre de la obra, la cantidad y las fechas de las mediciones que se hicieron.

---

Proceso: hormigonado de losa mediante bombeo

Obra: Proyecto 1

Mediciones realizadas: 2 cartas de balance (productividad):

1° medición                      Fecha: 10 de abril del 2012  
Hora inicio: 15:15                      Hora término: 16:10  
Tiempo total de muestreo: 55 min

2° medición                      Fecha: 24 de abril del 2012  
Hora inicio: 14:05                      Hora término: 15:00  
Tiempo total de muestreo: 55 min

---

Las losas son hormigonadas mediante bombeo, se utiliza una bomba ubicada en la cota 0 y en el piso que se hormigona se instalan tubos rígidos.

Este proceso es realizado por dos vaciadores que son de la empresa que vende el hormigón a la obra y el resto de los trabajadores son parte de la Empresa 1. El 10 de abril la cuadrilla estaba formada por 6 trabajadores: 2 vaciadores, 2 niveladores y 2 que palean y vibran. El 24 de abril se sumaron dos trabajadores a los seis ya existentes, quedando la cuadrilla formada por: 2 vaciadores, 2 niveladores, 2 paleros, 1 vibrador y 1 ayudante de vibrador.

La secuencia constructiva es así (ver Figura 35): los dos vaciadores instalan los tubos rígidos para dirigir el hormigón y una vez instalados se espera a que empiece a ser bombeado el hormigón. Comienza el bombeo, los vaciadores mueven el tubo, los paleros esparcen el material usando sus palas, los niveladores dejan a ras el hormigón.

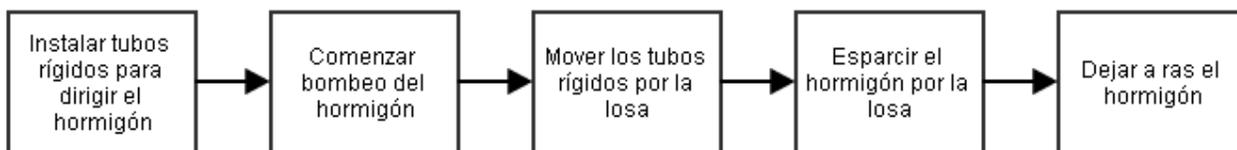


Figura 35: Secuencia constructiva del hormigonado de losa mediante bombeo.

Tanto el 10 como el 24 de abril se midió desde que comenzó la preparación para hormigonar, es decir, desde que los vaciadores empezaron a instalar los tubos rígidos. Y se dejó de medir cuando los niveladores terminaron su trabajo, ellos son los últimos en trabajar sobre el hormigón.

El área hormigonada en la primera medición -10 de abril- se encuentra identificada en la Figura 36, la de la segunda medición -24 de abril- en la Figura 37. Se observa que el 24 de abril se hormigonó un área más pequeña que el 10 de abril.



Figura 36: Identificación de área hormigonada en la medición del 10 de abril.



Figura 37: Identificación de área hormigonada en la medición del 24 de abril.

#### **4.1.2. Resultados 1° medición**

El trabajo no contributivo de la cuadrilla fue de 34% y el trabajador con más bajo nivel de actividad real fue el Palero/Vibrador 2 -trabajador 6- con un 60% (ver Tabla 7). El tiempo dedicado a tareas contributivas fue bajo, 6% (ver Figura 40), los vaciadores fueron los que más aportaron a este ítem con el armado y desarmado de la tubería. Los Trabajadores 5 y 6 paleaban y vibraban indistintamente (ver Figura 38), siendo obreros polifuncionales.

Demoraron 50 minutos desde que empezó el vaciado hasta que terminó el nivelado.

#### **4.1.3. Resultados 2° medición y análisis**

Se agregaron dos trabajadores a la cuadrilla para la misma faena. Desaparecieron los Paleros/Vibradores y se agregaron dos paleros exclusivos, un vibrador y un ayudante de vibrador. Se perdió la polifuncionalidad observada en la primera medición, todos los trabajadores se dedicaban exclusivamente a una tarea (ver Figura 39). Con esto el trabajo no contributivo subió a 52% desde el 34% medido el 10 de abril (ver Figura 40). El obrero con el nivel de actividad real más bajo fue el Vaciador 2 -trabajador 2- con 28%. El Nivelador 2 -trabajador 4- fue quien tuvo el nivel de actividad real más alto, con un 67% (ver Tabla 7).

Demoraron 40 minutos desde que comenzó el vaciado hasta que se terminó de nivelar. El área de trabajo era más pequeña que en la medición del 10 de abril (ver Figura 36 y Figura 37). Al agregar dos trabajadores se ve un retroceso en todos los índices de productividad, el trabajo productivo cayó y el trabajo no contributivo subió (ver Figura 40). Casi todos los obreros bajaron su nivel de actividad real, excepto el Nivelador 2 (ver Tabla 7).

Con estos números se recomendó hacer una cuadrilla de 6 trabajadores, se vio que es posible hacer la faena con esta cantidad y no hay una sobrecarga del trabajador.

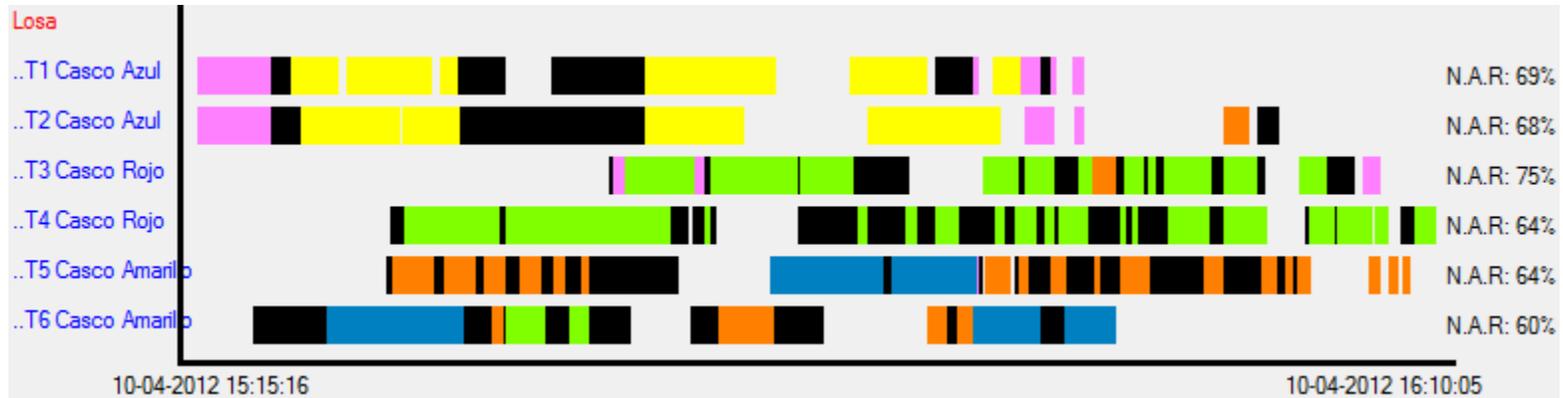
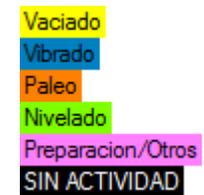


Figura 38: Carta de balance hormigonado de losa, 10 de abril.



Figura 39: Carta de balance hormigonado de losa, 24 de abril.



Trabajador	Nivel de actividad real		Coeficiente de participación		Nivel de actividad relativo	
	10 de abril	24 de abril	10 de abril	24 de abril	10 de abril	24 de abril
T1 Vaciador 1	69%	40%	0,57	0,71	40%	29%
T2 Vaciador 2	68%	28%	0,61	0,76	41%	21%
T3 Nivelador 1	75%	54%	0,51	0,84	38%	45%
T4 Nivelador 2	64%	67%	0,72	0,62	46%	41%
T5 Palero/Vibrador	64%	40%	0,76	0,92	48%	37%
T6 Palero/Vibrador	60%	59%	0,56	0,74	33%	44%
T7 Vibrador	-	56%	-	0,78	-	44%
T8 Ayudante de Vibrador	-	49%	-	0,79	-	39%
<b>Total</b>	<b>66%</b>	<b>48%</b>	<b>0,62</b>	<b>0,77</b>	<b>41%</b>	<b>37%</b>

Tabla 7: Nivel de actividad y participación, 10 de abril y 24 de abril.

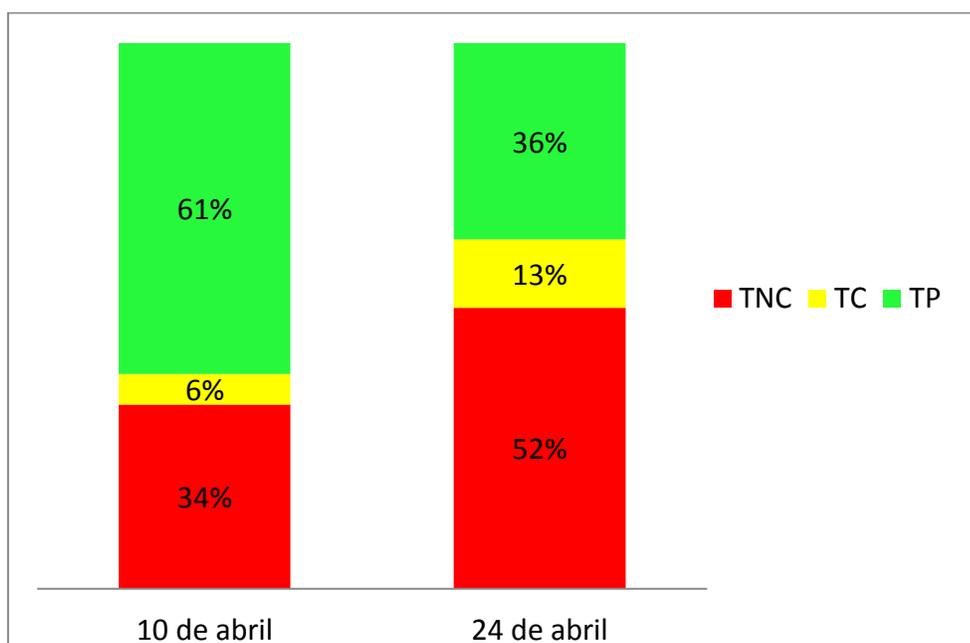


Figura 40: Nivel de actividad promedio, 10 de abril y 24 de abril.

TNC: Trabajo no contributivo; TC: Trabajo contributivo; TP: Trabajo productivo.

#### 4.1.4. Horas hombre para realizar las mediciones

Se observa en la Tabla 8 que el tiempo necesario para realizar ambas cartas de balance es un 75% mayor de la forma manual que cuando se utiliza Panoram (ver las consideraciones para estos cálculos en Capítulo 3.4: Observaciones sobre la velocidad de medición, p. 36).

	Carta de balance	Duración de la faena	Tamaño de la cuadrilla	Velocidad de reproducción	Tiempo de captura	Tiempo de análisis	Tiempo total
Medición con Panoram	10 de abril	55 min	6	4x	42 min	0	42 min
	24 de abril	55 min	8	4x	55 min	0	55 min
	Total						97 min
Método manual	10 de abril	55 min	6	1x	55 min	30 min	85 min
	24 de abril	55 min	8	1x	55 min	30 min	85 min
	Total						170 min

Tabla 8: Comparación de tiempos de medición, con Panoram y manual.

## 4.2. Caso Beta, productividad

### 4.2.1. Antecedentes previos

A continuación se presentan el proceso medido, el nombre de la obra, la cantidad y las fechas de las mediciones que se hicieron.

---

Proceso: hormigonado de muro mediante bombeo

Obra: Proyecto 2

Mediciones realizadas: 5 cartas de balance (productividad):

1° medición: Fecha: 13 de abril del 2012  
Hora inicio: 10:20 Hora término: 11:14  
Tiempo total de muestreo: 54 min

2° medición: Fecha: 13 de abril del 2012  
Hora inicio: 12:00 Hora término: 12:54  
Tiempo total de muestreo: 54 min

3° medición: Fecha: 13 de abril del 2012  
Hora inicio: 14:00 Hora término: 14:45  
Tiempo total de muestreo: 45 min

4° medición: Fecha: 11 de mayo del 2012  
Hora inicio: 16:35 Hora término: 17:24  
Tiempo total de muestreo: 49 min

5° medición: Fecha: 22 de mayo del 2012  
Hora inicio: 17:20 Hora término: 18:00  
Tiempo total de muestreo: 40 min

---

Los muros hormigonados en esta medición son armados. Este proceso es realizado en su totalidad por trabajadores de la Empresa 2. La cuadrilla estaba formada por 3 trabajadores: 1 vaciador, 1 ayudante y 1 vibrador. Se incluyó entre las tareas el paleo que en este caso es cuando el hormigón cae fuera del muro y es paleado desde el piso hasta él. Se midió desde que la cuadrilla llegó al lugar de trabajo hasta que se retiraron de ahí.

## **4.2.2. Resultados**

El nivel de actividad real medido en las tres cartas de balance del 13 de abril fue bajo: 20% en la 1° medición, 41% en la 2° y 50% en la 3°. El obrero con el nivel de actividad real más bajo fue el Ayudante, quien presentó niveles de 11%, 19% y 16%, respectivamente (ver Tabla 9).

En la medición del 11 de mayo se observa una mejora en el nivel de actividad real de la cuadrilla, alcanzando 70%. Nuevamente, el trabajador con el porcentaje más bajo en este ítem fue el Ayudante, quien presentó un nivel de actividad real de 43%, mejorando respecto al 13 de abril (ver Tabla 9).

El 22 de mayo se observa una baja en el nivel de actividad real respecto al 11 de mayo pero con números mejores que los del 13 de abril. La cuadrilla tuvo un nivel de actividad real de 62%. Otra vez, el obrero con el nivel de actividad real más bajo fue el Ayudante con 31%, lejos del 81% del Vaciador y del 68% del Vibrador (ver Tabla 9).

## **4.2.3. Análisis**

Teniendo en cuenta las mediciones del 13 de abril y viendo el bajo nivel de actividad real del Ayudante -15% el promedio del día- se le recomendó a la gerencia de obra, en la reunión del 3 de mayo, bajar la cantidad de obreros de la cuadrilla a 2 y prescindir de los servicios del Ayudante.

En la reunión del 25 de mayo se presentó la carta de balance del 11 de mayo, y viendo los resultados de esta se volvió a recomendar que la cuadrilla tuviera solo 2 trabajadores. La carta de balance del 22 de mayo se presentó en la reunión del 5 de junio y teniendo en cuenta los resultados de la medición, se volvió a dar como oportunidad de mejora el desprendimiento del Ayudante.

Si el Ayudante no hubiese estado en las 5 mediciones y considerando que su carga de trabajo sería absorbida por el Vaciador y Vibrador, en este escenario el nivel de actividad real de la cuadrilla hubiese sido 67%, muy por encima del 49% que se tiene en promedio de las 5 mediciones. Con esto también se nota, aparte del aumento en la productividad, que en una cuadrilla de 2 trabajadores no se les sobreexigiría.

Trabajador	Nivel de actividad real					Coeficiente de participación					Nivel de actividad relativo				
	13-04	13-04	13-04	11-05	22-05	13-04	13-04	13-04	11-05	22-05	13-04	13-04	13-04	11-05	22-05
T1 Vaciador	17%	33%	50%	58%	81%	0,85	0,99	0,93	0,56	0,51	14%	32%	47%	33%	41%
T2 Ayudante	11%	19%	16%	42%	31%	0,98	0,73	0,49	0,53	0,44	10%	14%	8%	22%	13%
T3 Vibrador	36%	79%	66%	96%	68%	0,75	0,67	0,95	0,85	0,62	27%	53%	63%	82%	42%
Total	20%	41%	50%	70%	62%	0,86	0,79	0,79	0,64	0,52	17%	33%	63%	82%	42%

Tabla 9: Nivel de actividad y participación, 13 de abril (3 mediciones), 11 de mayo y 22 de mayo.

#### 4.2.4. Horas hombre para realizar las mediciones

Se observa en la Tabla 10 que el tiempo necesario para realizar las 5 cartas de balance es un 220% mayor de la forma manual que cuando se utiliza Panoram (ver las consideraciones para estos cálculos en Capítulo 3.4: Observaciones sobre la velocidad de medición, p. 36).

	Carta de balance	Duración de la faena	Tamaño de la cuadrilla	Velocidad de reproducción	Tiempo de captura	Tiempo de análisis	Tiempo total
Medición con Panoram	13 de abril	54 min	3	4x	27 min	0	27 min
	13 de abril	54 min	3	4x	27 min	0	27 min
	13 de abril	45 min	3	4x	23 min	0	23 min
	11 de mayo	49 min	3	4x	25 min	0	25 min
	22 de mayo	40 min	3	4x	20 min	0	20 min
	Total						
Método manual	13 de abril	54 min	3	1x	54 min	30 min	84 min
	13 de abril	54 min	3	1x	54 min	30 min	84 min
	13 de abril	45 min	3	1x	45 min	30 min	75 min
	11 de mayo	49 min	3	1x	49 min	30 min	79 min
	22 de mayo	40 min	3	1x	40 min	30 min	70 min
	Total						

Tabla 10: Comparación de tiempos de medición, con Panoram y manual.

### 4.3. Caso Gamma, productividad

#### 4.3.1. Antecedentes previos

A continuación se presentan el proceso medido, el nombre de la obra y la fecha de la medición realizada.

---

Proceso: hormigonado de muro con carretillas

Obra: Proyecto 3

Mediciones realizadas: 1 carta de balance (productividad):

Fecha: 25 de julio del 2012

Hora inicio: 14:45      Hora término: 15:49

Tiempo total de muestreo: 1 h 4 min

---

Los muros hormigonados en esta medición son de albañilería (ICF). Este proceso es realizado en su totalidad por trabajadores de la Empresa 3. La cuadrilla estaba formada por 12 trabajadores: 2 vaciadores, 2 vibradores, 2 ayudantes de vibrador, 5 carretilleros y 1 hormigonero.

La secuencia constructiva es así (ver Figura 41): el hormigonero vacía el hormigón desde el camión-mixer a la carretilla, ahí el carretillero lo traslada hasta donde están ubicados los vaciadores para que estos muevan el material desde la carretilla hasta el muro usando palas. Entonces entra el vibrador.

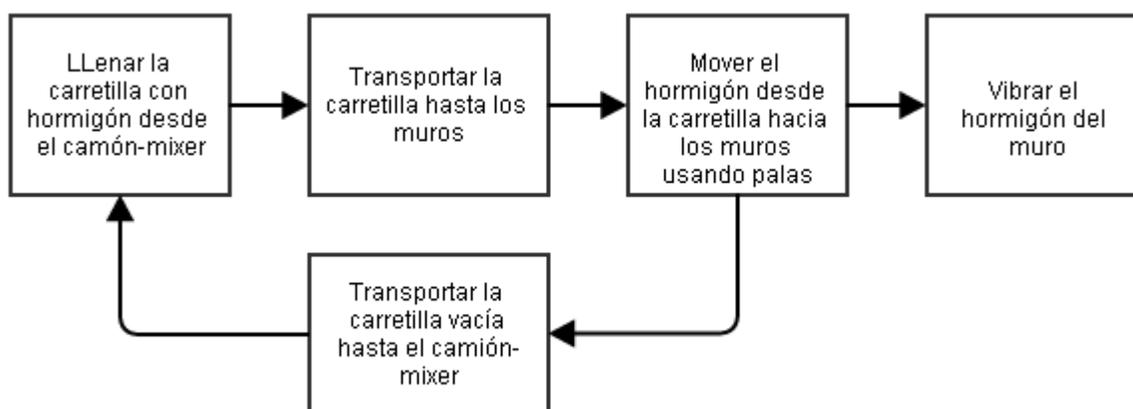


Figura 41: Secuencia constructiva del hormigonado de muros usando carretillas.

Se midió desde que se llenó la primera carretilla y se dio término cuando el camión-mixer empezó a moverse para hormigonar otro sector de la casa. Se utilizaron  $6,8 \text{ m}^3$  de hormigón durante la medición, el camión tenía una capacidad de  $8 \text{ m}^3$ .

#### **4.3.2. Resultados**

El nivel de actividad real de la cuadrilla fue 65%. Los trabajadores con el nivel de actividad real más bajo fueron el Ayudante de vibrador 2, 18%, el Hormigonero, 40%, y el Ayudante de vibrador 1, 52% (ver Tabla 11).

Tomó 1 hora y 4 minutos vaciar  $6,8 \text{ m}^3$ , esto es muy lento si se compara con el vaciado con bomba, en esta misma obra se hormigonaron  $8 \text{ m}^3$  en 16 minutos utilizando un camión-bomba.

El capataz también participó de la faena paleando hormigón desde la carretilla a los muros pero su actuar no fue medido en la carta de balance porque no correspondía que actuara como vaciador, no había nadie supervisando, y porque dejó la labor física en el intervalo 35-40 minutos.

En la Figura 42 se ve una disminución en la cantidad de carretillas transportadas a través del tiempo, los factores para explicar esta baja son el gran esfuerzo físico que implica hormigonar con carretillas y también el hecho que el capataz se fue a los 35-40 minutos, dejando sin un vaciador a la cuadrilla. Este efecto se ve en la carta de balance (ver Figura 43) donde "sin actividad" aumenta su presencia en la línea de los carretilleros a partir de la mitad de la medición, es por esto que el Carretillero 4 reemplaza al capataz para que la faena no baje tanto su velocidad de avance.

#### **4.3.3. Análisis**

Se recomendó a la gerencia de obra, teniendo en cuenta los puntos mencionados anteriormente, que se mantuviera el número de trabajadores de la cuadrilla pero que se reubicaran algunos puestos. Que los dos ayudantes de vibrador - destacados en la Tabla 11- pasara uno a vaciador y el otro a vibrador, generando otro frente de vaciado, sumando así un total de 3 frentes. Los vibradores pueden mover por sí solos el pequeño motor de su herramienta ya que sus desplazamientos son mínimos.

Si la gerencia de obra considera a los ayudantes de vibrador imprescindibles y teniendo en cuenta que los vaciadores y carretilleros son los que más se desgastan físicamente, se propuso una rotación para que los vibradores y sus ayudantes también vacíen y trasladen carretillas, así el desgaste físico no será tan alto como el observado en la medición y el ritmo se mantendrá más constante.

Si se considera la primera recomendación, el Ayudante de Vibrador 1 se comporta como el Vaciador 2 -se elige este por ser el vaciador con el nivel de actividad real más bajo, es decir, se hace un supuesto conservador- y el Ayudante de Vibrador 2 se comporta como el Vibrador 1 -se usó el mismo supuesto anterior-. Con esto el ritmo de trabajo se mantendría más constante (ver supuesto ritmo de trabajo en Figura 44) y por lo tanto el tiempo de vaciado disminuiría, una aproximación simple da como resultado que en 56 minutos se terminaría la faena, 8 minutos menos que en la medición original. Teniendo estos dos factores en cuenta –cambio de labores y cambio en la duración del trabajo- el nivel de actividad real aumentaría a 82% desde el 65% original.

Trabajador	Nivel de actividad real	Coefficiente de participación	Nivel de actividad relativo
T1 Vaciador 1	78%	0,99	77%
T2 Vibrador 1	72%	0,92	66%
T3 Ayudante de Vibrador 1	52%	0,99	51%
T4 Vaciador 2	66%	0,99	65%
T5 Vibrador 2	95%	0,95	90%
T6 Ayudante de Vibrador 2	18%	0,99	18%
T7 Carretillero 1	68%	0,99	68%
T8 Carretillero 2	72%	0,99	71%
T9 Carretillero 3	72%	0,99	71%
T10 Carretillero 4	74%	0,99	73%
T11 Carretillero 5	75%	0,98	74%
T12 Hormigonero	40%	0,87	34%
Total	65%	0,97	63%

Tabla 11: Nivel de actividad y participación, 25 de julio.

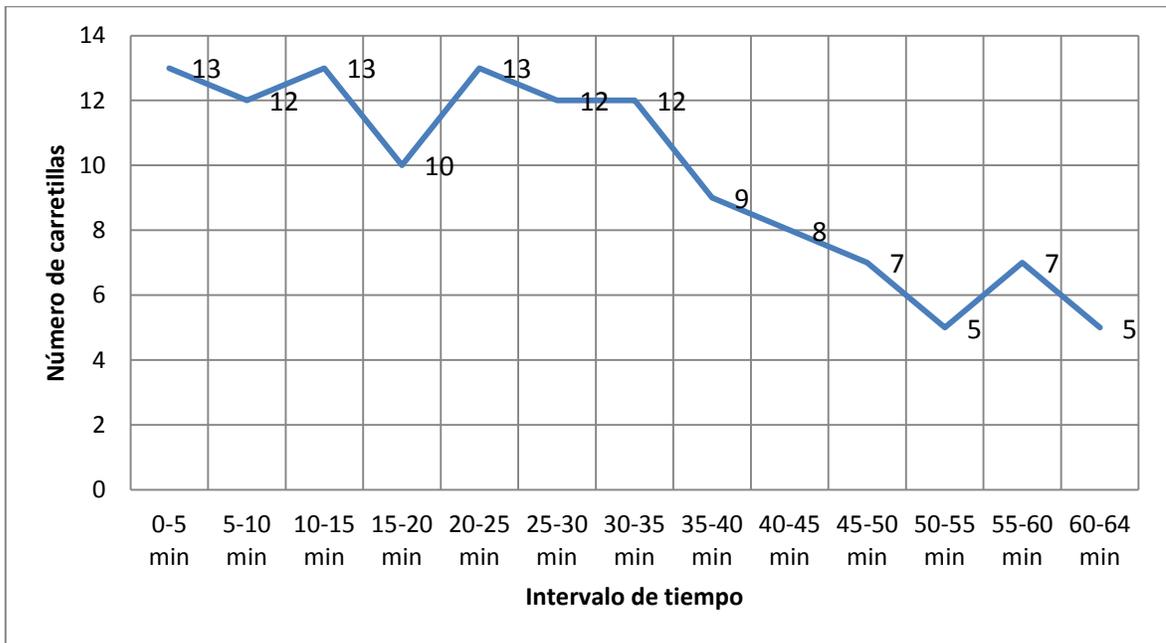


Figura 42: Número de carretillas transportadas, 25 de julio.

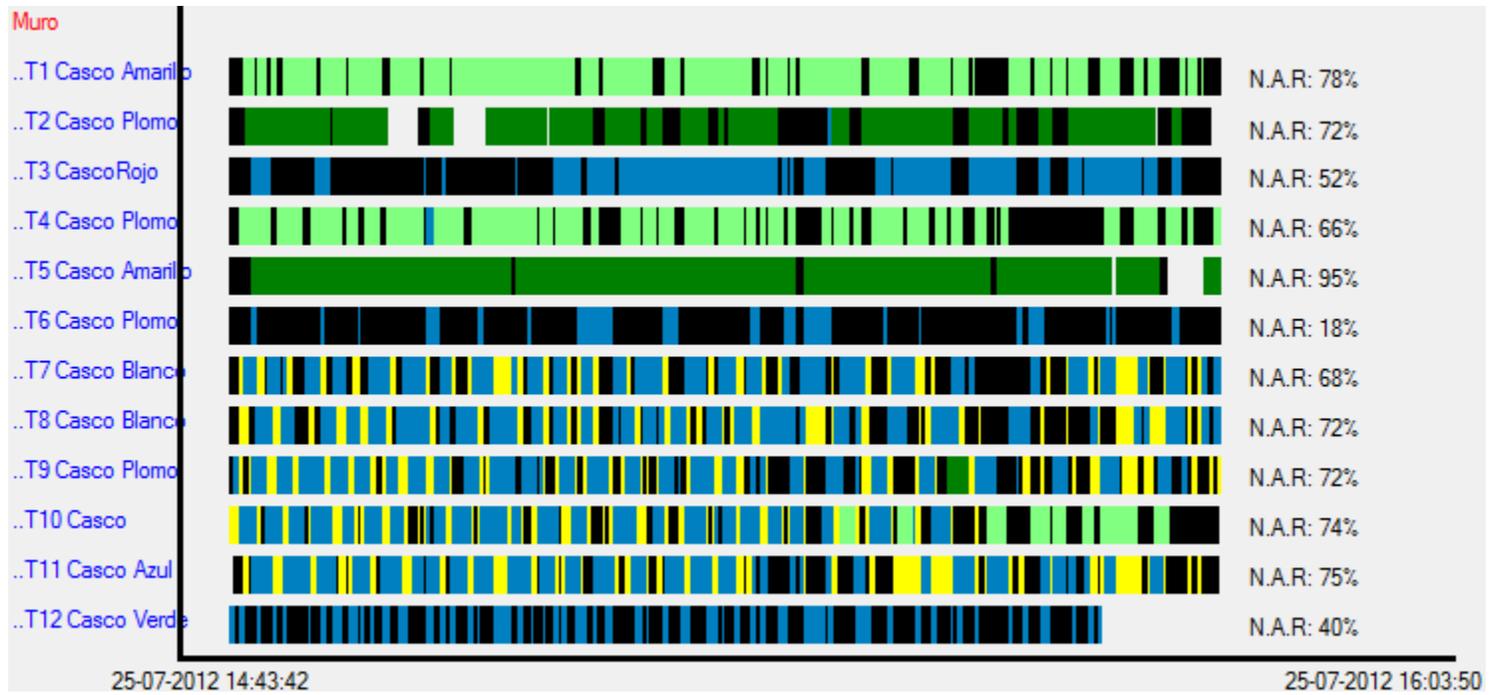
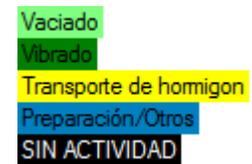


Figura 43: Carta de balance hormigonado de muro, 25 de julio.



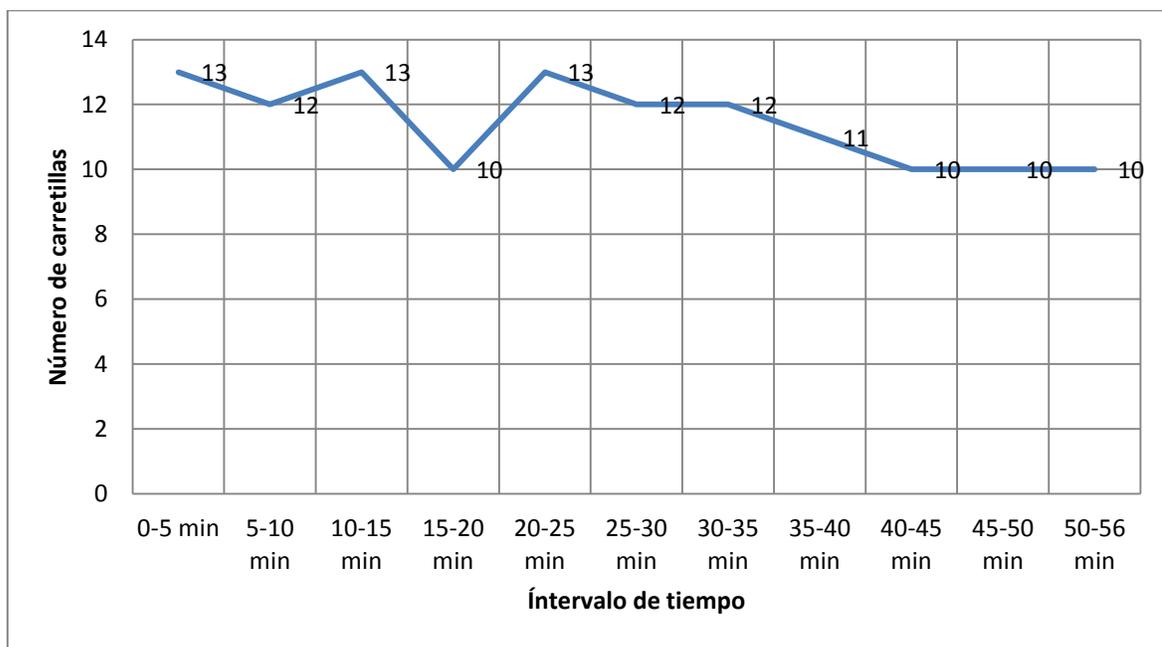


Figura 44: Número de carretillas transportadas con la configuración de cuadrilla recomendada.

#### 4.3.4. Horas hombre para realizar las mediciones

Se observa en la Tabla 12 que el tiempo necesario para realizar la carta de balance es un 18% menor de la forma manual que cuando se utiliza Panoram. Esto se da por la baja velocidad de reproducción, y la baja velocidad de reproducción se debe al movimiento de la cámara de mano -si se reproducía más rápido no se notaban bien las tareas que realizaba cada trabajador-. No se contaba con un trípode cuando se grabó la faena, si se hubiese tenido uno la velocidad de reproducción hubiese sido 4x, reduciendo a la mitad el tiempo necesario para la medición: 1h 36 min (ver las consideraciones para estos cálculos en Capítulo 3.4: Observaciones sobre la velocidad de medición, p. 36).

	Carta de balance	Duración de la faena	Tamaño de la cuadrilla	Velocidad de reproducción	Tiempo de captura	Tiempo de análisis	Tiempo total
Medición con Panoram	25 de julio	64 min	12	2x	192 min	0	192 min
Método manual	25 de julio	64 min	12	1x	128 min*	30 min	158 min

Tabla 12: Comparación de tiempos de medición, con Panoram y manual.

\*Se necesitan dos personas para muestrear más de 8 trabajadores (Serpell, 2002, p. 185).

#### 4.4. Resumen de los casos

Caso Alfa		
Proyecto 1	Oportunidad de mejora	Resultado
<ul style="list-style-type: none"><li>- Productividad</li><li>- Hormigonado de losa mediante bombeo</li><li>- 2 cartas de balance</li><li>- Capítulo 4.1, p. 39</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Reducir el número de trabajadores de 8 a 6</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>- El nivel de actividad real de la cuadrilla sube de 48% a 66%</li><li>- 97 min (1,6 HH) para realizar las mediciones</li></ul>
Caso Beta		
Proyecto 2	Oportunidad de mejora	Resultado
<ul style="list-style-type: none"><li>- Productividad</li><li>- Hormigonado de muro con capachos</li><li>- 5 cartas de balance</li><li>- Capítulo 4.2, p. 45</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Reducir el número de trabajadores de 3 a 2</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>- El nivel de actividad real de la cuadrilla sube de 49% a 67%</li><li>- 122 min (2 HH) para realizar las mediciones</li></ul>
Caso Gamma		
Proyecto 3	Oportunidad de mejora	Resultado
<ul style="list-style-type: none"><li>- Productividad</li><li>- Hormigonado de muro con carretillas</li><li>- 1 carta de balance</li><li>- Capítulo 4.3, p. 49</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Reasignar a los 2 ayudantes de vibradores a vaciador y vibrador, así se aumenta a 3 el número de frentes de vaciado</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>- El nivel de actividad real de la cuadrilla sube de 65% a 82%. Disminución del tiempo de ejecución de 64 min. a 56 min.</li><li>- 192 min (3,2 HH) para realizar la medición</li></ul>

## 5. ESTUDIO DE CASOS

En este capítulo se presentarán todos los casos donde la gerencia de obra llevó a cabo las oportunidades de mejora sugeridas por el equipo de GEPUC, este es el único filtro que se utilizó para ser incorporado en este capítulo. Se observará el impacto al usar el sistema Panoram porque se trata de casos con mejoras reales, es decir, se midió el impacto y no es solo una mejora probable o teórica como en el Capítulo 4.

Son 4 casos los que se presentan:

- 3 de productividad y 1 de seguridad.
- En 2 se realizaron cartas de balance, en 1 se realizó rutas de grúas y en otro, muestreos de seguridad.
- 2 fueron obtenidos del Proyecto 2 y los otros 2, del Proyecto 3.

En cada caso se entrega información sobre:

- las mediciones realizadas -dependiendo del caso: carta de balance, muestreo de seguridad o ruta grúa-, sus resultados,
- las oportunidades de mejora sugeridas a la gerencia de obra,
- el impacto de esto y,
- finalmente, una comparación entre las horas hombre necesarias para llevar a cabo las mediciones con Panoram con las horas hombre necesarias si se hubiese medido de forma manual.

Los casos se presentan en orden cronológico, el primero en ser analizado es donde se hizo la primera medición. Al final del capítulo hay un resumen de todos los casos presentados (p. 80).

## 5.1. Caso A, productividad

### 5.1.1. Antecedentes previos

A continuación se presentan el proceso medido, el nombre de la obra, la cantidad y las fechas de las mediciones que se hicieron.

---

Proceso: movimiento de grúa

Obra: Proyecto 2

Mediciones realizadas: 35 rutas de grúa (productividad):

<sup>m</sup>: medido en el turno de mañana, antes de almuerzo

<sup>t</sup>: medido en el turno de tarde, después de almuerzo

Semana 1                      Número de mediciones: 3

05-mar-12 <sup>m</sup>      07-mar-12 <sup>t</sup>      09-mar-12 <sup>m</sup>

Semana 2                      Número de mediciones: 3

26-mar-12 <sup>m</sup>      28-mar-12 <sup>t</sup>      30-mar-12 <sup>m</sup>

Semana 3                      Número de mediciones: 4

02-abr-12 <sup>m</sup>      03-abr-12 <sup>t</sup>      04-abr-12 <sup>m</sup>      05-abr-12 <sup>t</sup>

Semana 4                      Número de mediciones: 5

09-abr-12 <sup>m</sup>      10-abr-12 <sup>m</sup>      11-abr-12 <sup>m</sup>      12-abr-12 <sup>m</sup>      13-abr-12 <sup>m</sup>

Semana 5                      Número de mediciones: 4

23-abr-12 <sup>m</sup>      24-abr-12 <sup>m</sup>      25-abr-12 <sup>m</sup>      26-abr-12 <sup>m</sup>

Semana 6                      Número de mediciones: 8

14-may-12 <sup>m t</sup>      15-may-12 <sup>m t</sup>      16-may-12 <sup>m t</sup>      17-may-12 <sup>m t</sup>

Semana 7                      Número de mediciones: 8

22-may-12 <sup>m t</sup>      23-may-12 <sup>m t</sup>      24-may-12 <sup>m t</sup>      25-may-12 <sup>m t</sup>

---

Mediante la ruta de grúa se mide el comportamiento de la grúa durante un lapso de tiempo: qué materiales transporta, cuando se encuentra detenida, cuando se mueve sin material enganchado, cuando se prepara para ser cargada (para ver más detalles

de esta medición ver Capítulo 3.2.3, p. 25). El propósito es conocer la rutina de esta y saber si está usando de buena manera, si los tiempos improductivos son muy frecuentes.

Los materiales transportados por la grúa que más interesan a la gerencia de obra son: fierro, moldaje y la tierra de la excavación. Se agregó “otros” para etiquetar distintos materiales de menor relevancia en cuanto a tiempo de uso de la grúa, como capachos de hormigón, basura, etc. La grúa empieza sus funciones a las 9:00, la hora de almuerzo es desde las 13:00 hasta las 14:00.

### **5.1.2. Resultados**

Se hicieron 6 reuniones entre los profesionales de la obra Proyecto 2 y GEPUC - representado por el autor de este estudio y un profesional de planta-. Durante estas reuniones se discutieron los resultados de las mediciones y posibles oportunidades de mejora.

#### **Resultados presentados en la 1° reunión**

La primera reunión fue el jueves 15 de marzo y se presentaron los resultados de la 1° semana -5, 7 y 9 de marzo-. No hubo recomendaciones para mejorar la situación, los porcentajes de “tiempo muerto con carga” y “tiempo muerto sin carga” se consideraron bajos -suman 12%- (ver Figura 46). Tampoco se presentaron las rutas de grúas debido a la forma en que se midió (ver Capítulo 3.2.3, p. 25).

Se utilizó un gran porcentaje del tiempo, 44% (ver Figura 46), en Preparación/Enganche, la explicación por parte de la gerencia fue que el acoplamiento de la armadura y del moldaje toma bastante tiempo. Se ve en la Figura 47 que estos dos materiales usan 70% del tiempo de la grúa.

#### **Resultados presentados en la 2° reunión**

La segunda reunión fue el miércoles 4 de abril y se presentaron los resultados de la 2° semana -26, 28 y 30 de marzo-. Se recomendó mayor supervisión y mejor planificación porque la grúa estuvo un 31% de su tiempo sin actividad -tiempo muerto con carga o sin carga- (ver Figura 46), porcentaje que se consideró alto. La gerencia de la obra dijo que se estaban preocupando más de la grúa, si esta estaba detenida se comunicaban con el controlador de la grúa para saber qué pasaba.

### Resultados presentados en la 3° reunión

La tercera reunión fue el miércoles 18 de abril y se presentaron los resultados de la 3° semana -2, 3, 4 y 5 de abril-. Se observó un fuerte aumento en el tiempo muerto el día jueves 5 de abril (ver Figura 45), esto fue debido al hecho que el viernes 6 de abril era feriado. En promedio, el tiempo muerto fue bajo durante la semana -15%-.

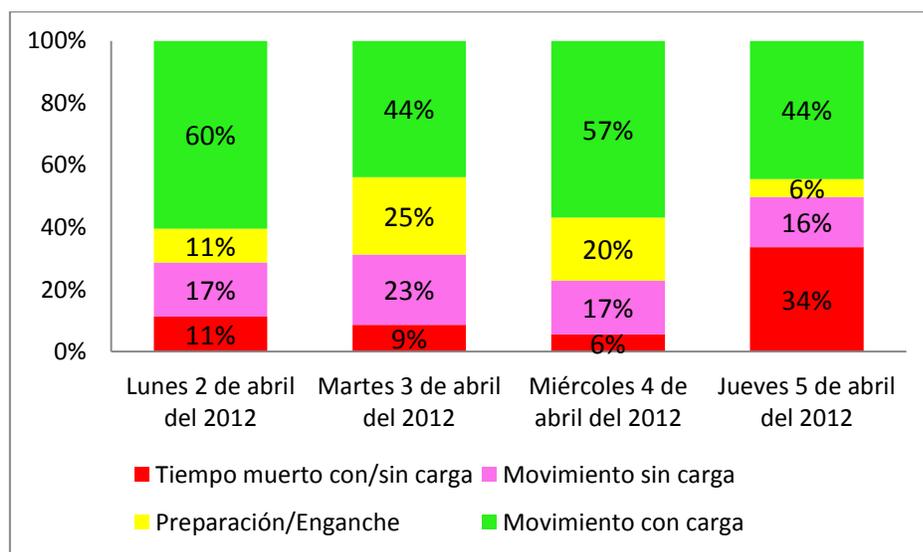


Figura 45: Nivel de actividad, 3° semana.

Se recomendó mayor supervisión para que los días anteriores a los fines de semanas largas no tengan un porcentaje de tiempo muerto tan alto, lo que indica que la grúa no se está usando y por lo tanto la productividad en la obra es baja.

### Resultados presentados en la 4° reunión

La cuarta reunión fue el jueves 3 de mayo y se presentaron los resultados de la 4° -9, 10, 11, 12 y 13 de abril- y 5° semana -23, 24, 25 y 26 de abril-. En ambas semanas el tiempo muerto alcanzó el 10% y el movimiento con carga fue de 57% y 56%, respectivamente (ver Figura 46). Estos resultados se consideraron positivos por lo que no se dieron recomendaciones.

### Resultados presentados en la 5° reunión

La quinta reunión fue el viernes 25 de mayo y se presentaron los resultados de la 6° semana -14, 15, 16 y 17 de mayo-. El tiempo muerto alcanzó el 8% y el movimiento con carga sufrió una fuerte baja respecto a las dos semanas anteriores, fue 33%. Se notó que el uso por parte de Excavación demandaba mucho tiempo de Preparación/Enganche, esto explica el alto porcentaje de esta actividad.

## Resultados presentados en la 6° reunión

La sexta reunión fue el martes 5 de junio y se presentaron los resultados de la 7° semana -22, 23, 24 y 25 de mayo-. El tiempo muerto mantiene su bajo porcentaje de semanas anteriores -8%- (ver Figura 46) y se mantiene el alto porcentaje de Preparación/Enganche de la 6° semana.

### 5.1.3. Análisis

El tiempo muerto pasó de 11% en la primera semana a 8% en la séptima semana, con un *peak* de 31% en la segunda semana (ver Figura 46). Que el tiempo muerto haya bajado de 11% a 8% no se considera una baja significativa. El tiempo de Preparación/Enganche tuvo un comportamiento errático, con 57% en la primera y última semana, pasando por 15% en la tercera semana. Estos porcentajes se explican porque nunca existió una oportunidad de mejora clara, lo único que se hizo fue mejorar la supervisión de la grúa mediante la observación por parte de la gerencia de la obra. La conclusión positiva que se puede obtener es que después del *peak* de trabajo improductivo de la 2° semana no se volvió a tener una semana tan mala en términos productivos.

El módulo de rutas de grúas de Panoram -que no se usó por no estar operativa (para más detalles ver Capítulo 3.2.3, p. 25)- incluye la opción para saber desde y hacia qué sectores se mueven los distintos materiales, esta información pudo haber sido de ayuda para lograr una oportunidad de mejora. La adaptación de las cartas de balance para que funcionen como rutas de grúas se queda corta en cuanto a la información entregada.

### Oportunidad de mejora ex post facto

Observando las rutas de grúas, los porcentajes de Preparación/Enganche y los porcentajes de cada material en las siete semanas, se puede concluir que no importaba qué material iba a ser transportado, siempre se tomaba mucho tiempo en Preparación/Enganche, superando el 40% en tres semanas y alcanzando en otra 29%. La demora en esta tarea no era algo inherente a algún material en específico, era más bien una característica de la obra en sí. Entonces, teniendo esto en consideración, se pudo haber disminuido este tiempo -aumentado así el porcentaje de movimiento con material- con una mejor comunicación y planificación, para que cuando la grúa bajara el gancho el material que iba a ser transportado ya estuviese listo y el operador de la grúa no tuviese que esperar tanto.

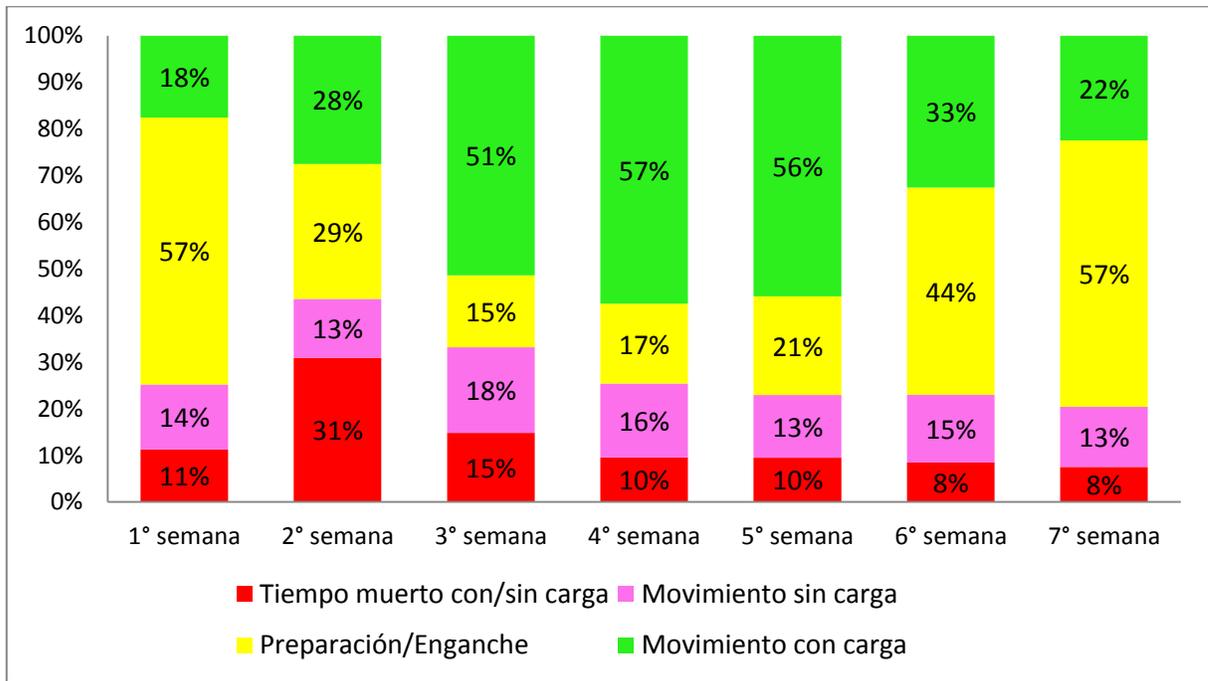


Figura 46: Uso de la grúa por tarea, promedio semanal.

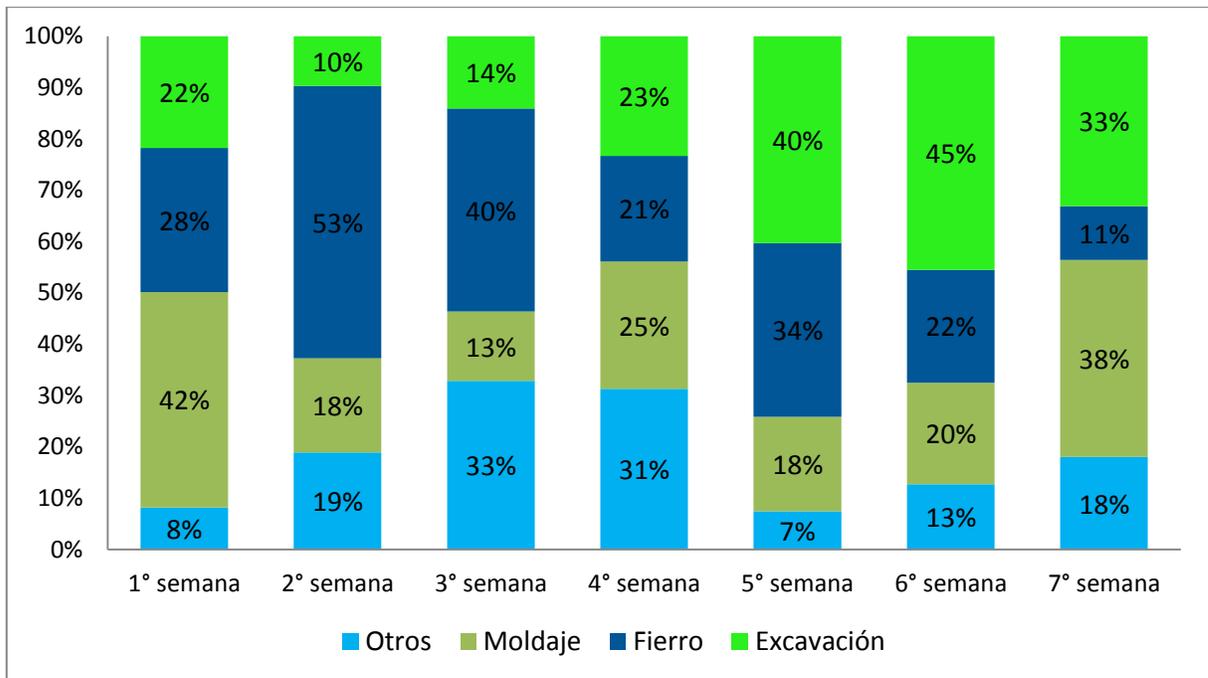


Figura 47: Uso de la grúa por material, promedio semanal.

#### 5.1.4. Horas hombres para realizar las mediciones

Se observa en la Tabla 13 que el tiempo necesario para realizar las 35 rutas de grúas es un 377% mayor de la forma manual que cuando se utiliza Panorám (ver las

consideraciones para estos cálculos en Capítulo 3.4: Observaciones sobre la velocidad de medición, p. 36).

	Ruta de grúa	Duración de la faena	Velocidad de reproducción	Tiempo de captura	Tiempo de análisis	Tiempo total
Medición con Panoram	Semana 1	540 min	4x	135 min	0	135 min
	Semana 2	545 min	4x	136 min	0	136 min
	Semana 3	480 min	4x	120 min	0	120 min
	Semana 4	600 min	4x	150 min	0	150 min
	Semana 5	480 min	4x	120 min	0	120 min
	Semana 6	1402 min	4x	350 min	0	350 min
	Semana 7	1430 min	4x	357 min	0	357 min
	Total					1369 min
Método manual	Semana 1	540 min	1x	540 min	90 min	630 min
	Semana 2	545 min	1x	545 min	90 min	635 min
	Semana 3	480 min	1x	480 min	120 min	600 min
	Semana 4	600 min	1x	600 min	150 min	750 min
	Semana 5	480 min	1x	480 min	120 min	600 min
	Semana 6	1402 min	1x	1402 min	240 min	1642 min
	Semana 7	1430 min	1x	1430 min	240 min	1670 min
	Total					6527 min

Tabla 13: Comparación de tiempos de medición, con Panoram y manual.

## 5.2. Caso B, seguridad

### 5.2.1. Antecedentes previos

A continuación se presentan el proceso medido, el nombre de la obra, la cantidad y las fechas de las mediciones que se hicieron.

---

Proceso: obra en general

Obra: Proyecto 2

Mediciones realizadas: 8 muestreos de seguridad:

Semana 1	Número de mediciones: 2
07-mar-12	08-mar-12

Semana 2	Número de mediciones: 2
23-abr-12	25-abr-12

Semana 3	Número de mediciones: 2
15-may-12	17-may-12

Semana 4	Número de mediciones: 2
24-may-12	25-may-12

---

Desde la 3° reunión, de un total de 6 que hubo entre la gerencia de la obra Proyecto 2 y GEPUC -representado por el autor de este estudio y un profesional de planta-, se comenzaron a presentar videos con acciones y condiciones sub-estándares ocurridas en la obra (ver ejemplo en Figura 48). La cantidad de videos presentados y las fechas de las reuniones en que fueron presentados se puede ver en la Tabla 14. Los videos eran utilizados para las charlas de seguridad que se hacían los miércoles en la mañana a los obreros.

Fecha de la reunión	N° de acciones presentadas en video		Fecha de los videos
	Sub-estándar	Buena práctica	
15-mar-12	-	-	-
4-abr-12	-	-	-
18-abr-12	5	1	3-abr, 4-abr, 5-abr
3-may-12	22	0	9-abr, 11-abr, 13-abr, 23-abr
25-may-12	9	2	11-may, 14-may
5-jun-12	7	5	24-may, 25-may

Tabla 14: Cantidad de videos presentados a la gerencia de obra.



Figura 48: Ejemplo de trabajadores trepando entre niveles, acción sub-estándar.

Antes de empezar a presentar los videos, en la 1° -5 de marzo- y 2° reunión -4 de abril- se presentaron tarjetas 5S + IPA (ver descripción en Capítulo 3.3.1, p. 30). Las tarjetas tenían mala definición y no se apreciaba con claridad la acción o condición sub-estándar. Es por esto, y para aprovechar el fuerte de Panorám -que es la captura en video de las acciones de la obra-, que un gerente de la Empresa 2 sugirió reemplazar las tarjetas 5S + IPA por videos y así lograr un mayor impacto en los trabajadores.

Las mediciones, muestreos de seguridad, se presentaron en la última reunión -5 de junio-. Se presentaron los promedios semanales. Los muestreos de seguridad fueron realizados después de que los videos ya habían sido presentados, es decir, no se realizaron durante el desarrollo de las acciones, sino que solo en el desenlace. El límite de error escogido es 5% y el nivel de confianza es 95%, por lo que las muestras mínimas son 323.

### **5.2.2. Resultados y análisis**

En la Figura 49 se observa una disminución en el trabajo no seguro, que va desde el 22% en la primera semana hasta un 3% en la última semana. Pasando por 22% en la segunda y 9% en la tercera.

Los videos se empezaron a presentar en la reunión con la gerencia del 18 de abril -3° reunión-. Por lo que estos fueron mostrados a los obreros en la reunión de seguridad de la obra el miércoles 25 de abril, y es esta la última semana donde el trabajo no seguro supera el 20%, en las posteriores mediciones se vio una notoria baja.

Según el jefe de terreno los videos captados en la propia obra causaban mayor impacto en los trabajadores que aquellos videos de obras ajenas. Por lo que se puede decir que las reuniones de seguridad mejoraron con los videos presentados y esto tuvo un impacto en el accionar de los obreros, quienes disminuyeron su accionar riesgoso. Lo que se ve reflejado en los muestreos de seguridad (ver Figura 49).

También hay que tomar en consideración otros factores que influyen en la disminución del trabajo no seguro. Uno de los factores es que en los primeros meses, marzo y abril, se estaba trabajando en los subterráneos y en los pisos superiores simultáneamente, por esto se ve en los videos a mucha gente trepando entre los distintos niveles de la obra, especialmente en la zona marcada en la Figura 48. En mayo la zona marcada no presentaba el desnivel por lo que la gente que trepaba disminuyó. Otro factor es el accionar de la gerencia para mejorar la seguridad, un ejemplo son los andamios que se adquirieron para reemplazar a los andamios de tablas de madera. Los nuevos poseían una portezuela para subir hasta ellos por dentro del mismo y no por el exterior, con el fin de disminuir el trepado por moldajes y enfierradura para llegar a la parte superior del andamio.

La fuerte disminución en el trabajo no seguro tiene múltiples explicaciones, una de ellas es el uso de los videos captados con Panoram y presentados en las reuniones de seguridad de la obra.

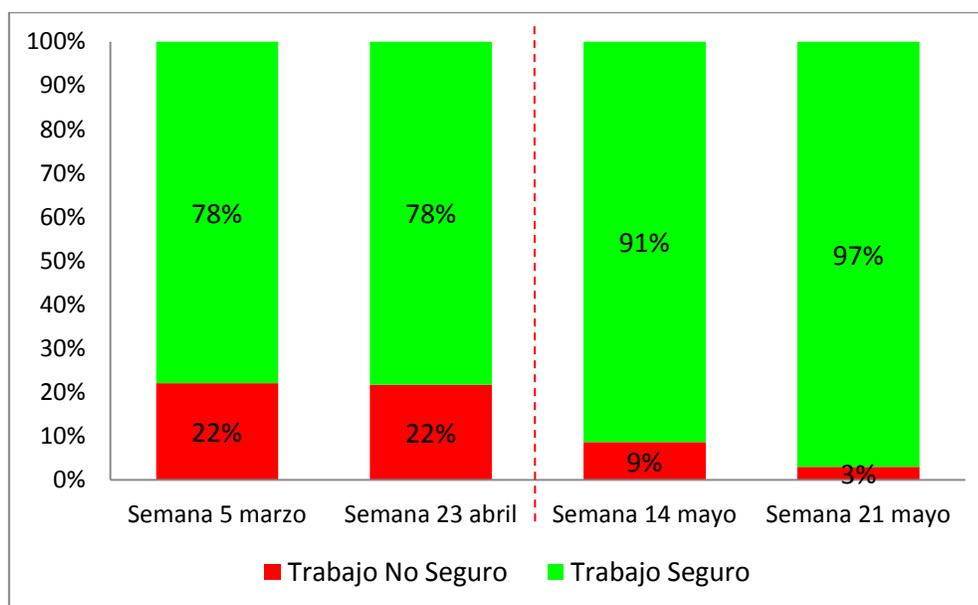


Figura 49: Muestreos de seguridad, promedio semanal.

La línea punteada vertical separa a los muestreos que se tomaron antes y después de empezar a mostrar videos de acciones sub-estándares en las reuniones semanales en obra.

### 5.2.3. Horas hombres para realizar las mediciones

Se observa en la Tabla 15 que el tiempo necesario para realizar las 8 muestreos de seguridad con un período de muestreo de 600 min., es un 1365% mayor de la forma manual que cuando se utiliza Panoram (ver las consideraciones para estos cálculos en Capítulo 3.4: Observaciones sobre la velocidad de medición, p. 36).

	Período muestreado	Tiempo de cada captura	N° de mediciones	Tiempo total de captura	Tiempo de análisis	Tiempo total
Medición con Panoram	600 min	36 min	8	288 min	0	288 min
Método manual	600 min	600 min	8	4800 min	240 min	5040 min

Tabla 15: Comparación de tiempos de medición, con Panoram y manual.

### 5.2.4. Impacto del observador en los resultados

En las tres primeras semanas -5 de marzo, 23 de abril y 14 de mayo- el ingeniero civil de GEPUC a cargo de Panoram también hizo muestreos de seguridad, obteniendo resultados distintos a los logrados por el autor del actual estudio (ver Figura 50). La

diferencia entre los resultados es mayor que el límite de error elegido -5%-. El profesional de GEPUC obtuvo porcentajes de trabajo no seguro más altos que el autor del estudio. Aunque estas diferencias no afectan las conclusiones sobre el impacto de Panoram en la seguridad de la obra, es necesario fijar criterios claros sobre qué se considera seguro y no seguro.

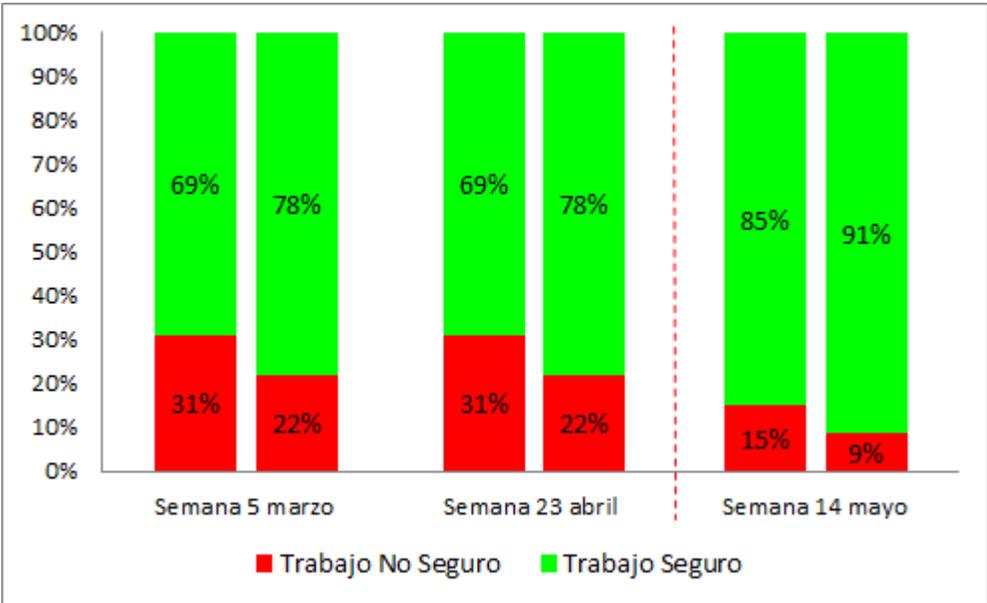


Figura 50: Diferencia de resultados por distintos observadores, muestreos de seguridad. La línea punteada vertical separa a los muestreos que se tomaron antes y después de empezar a mostrar videos de acciones sub-estándares en las reuniones semanales en obra. Los porcentajes más bajos de trabajo no seguro son del autor de este estudio.

### 5.3. Caso C, productividad

#### 5.3.1. Antecedentes previos

A continuación se presentan el proceso medido, el nombre de la obra, la cantidad y las fechas de las mediciones que se hicieron.

---

Proceso: hormigonado de muro mediante bombeo

Obra: Proyecto 3

Mediciones realizadas: 2 cartas de balance (productividad):

1° medición      Fecha: 7 de agosto del 2012  
                         Hora inicio: 9:50              Hora término: 10:30  
                         Tiempo total de muestreo: 40 min

2° medición      Fecha: 20 de agosto del 2012  
                         Hora inicio: 15:54              Hora término: 16:17  
                         Tiempo total de muestreo: 23 min

---

Los muros hormigonados en estas mediciones son de albañilería, de ladrillos conocidos como ICF. Este proceso es realizado en su totalidad por trabajadores de la Empresa 3. Tanto en la primera como en la segunda medición la cuadrilla estaba formada por 5 trabajadores: 1 vaciador, 1 vibrador, 1 ayudante de vibrador y 2 acomodadores.

La secuencia constructiva es así (ver Figura 51): llegan a terreno el camión-mixer y el camión-bomba, este último se instala -tiene un sistema de 4 patas que necesitan estar bien apoyadas para mantener la estabilidad- y luego se ceba. El hormigón es bombeado, pasa del camión-mixer al camión-bomba, el vaciador sostiene y mueve la manga, los acomodadores sostienen las tablas para que el hormigón sea encausado y no se desparrame fuera del moldaje. De ahí entran en acción el vibrador y su ayudante.

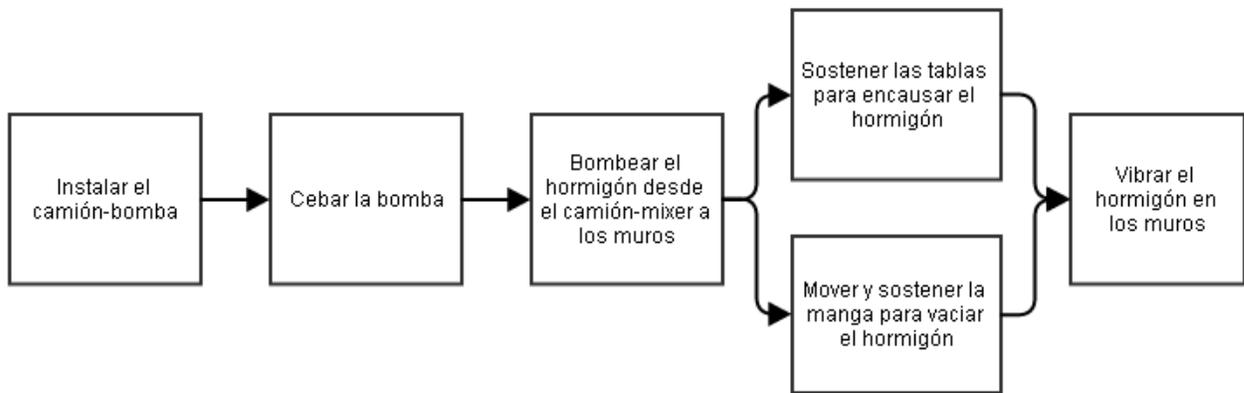


Figura 51: Secuencia de hormigonado de muros usando camión-bomba.

Tanto en la primera como en la segunda medición se muestreó desde que comenzó el vaciado del hormigón -el momento que empieza a salir hormigón por la manga- hasta que se vació completamente el camión. El camión de la 1° medición llevaba 7,5 m<sup>3</sup> de hormigón, la misma cantidad de material que contenía el camión del 20 de agosto.

### 5.3.2. Resultados 1° medición

El nivel de actividad real de la cuadrilla fue 19% y el trabajador con más bajo nivel de actividad real fue el Acomodador 2 con 62% (ver Tabla 16). Estos porcentajes son buenos, indican que hubo poco tiempo destinado a tareas no contributorias.

Demoraron 40 minutos en vaciar 7,5 m<sup>3</sup> de hormigón, este tiempo se considera excesivo si se tiene en cuenta que se vacía con bomba. Las razones de la demora fueron que los trabajos previos para poder hormigonar no estaban listos al momento de llegar los camiones mixer, faltaba aplomar y armar andamios.

Si se mira la carta de balance (ver Figura 52) se observa un trabajo constante, por lo que los paseos y descansos no son un factor en la demora en vaciar el hormigón.

Teniendo estos puntos en cuenta la gerencia se comprometió a tener listos los trabajos previos necesarios para hormigonar.

### 5.3.3. Resultados 2° medición y análisis

El nivel de actividad real de la cuadrilla fue 79%, muy cercano al 81% de la medición anterior. El trabajador con el N.A.R. más bajo fue el Acomodador 1 con 73% (ver Tabla 16).

En la carta de balance (ver Figura 53) se observa un trabajo constante, al igual que el 7 de agosto. En esta medición se demoraron 23 minutos en vaciar  $7,5 \text{ m}^3$ , contra los 40 minutos del 7 de agosto, esto es una disminución del 43% en el tiempo de vaciado. Con esto se prueba que el excesivo tiempo que se tomaron para hormigonar el 7 de agosto fue por la falta de aplomado y andamios, no por falta de trabajo por parte de los obreros. La productividad aumentó 75%, pasando de  $2,25 \text{ [m}^3 \text{ vaciados/HH]}$  a  $3,93 \text{ [m}^3 \text{ vaciados/HH]}$  (ver Tabla 17).

Simples medidas como coordinar mejor y así tener la “cancha” lista para que la cuadrilla trabaje pueden hacer una gran diferencia en la productividad de la obra.

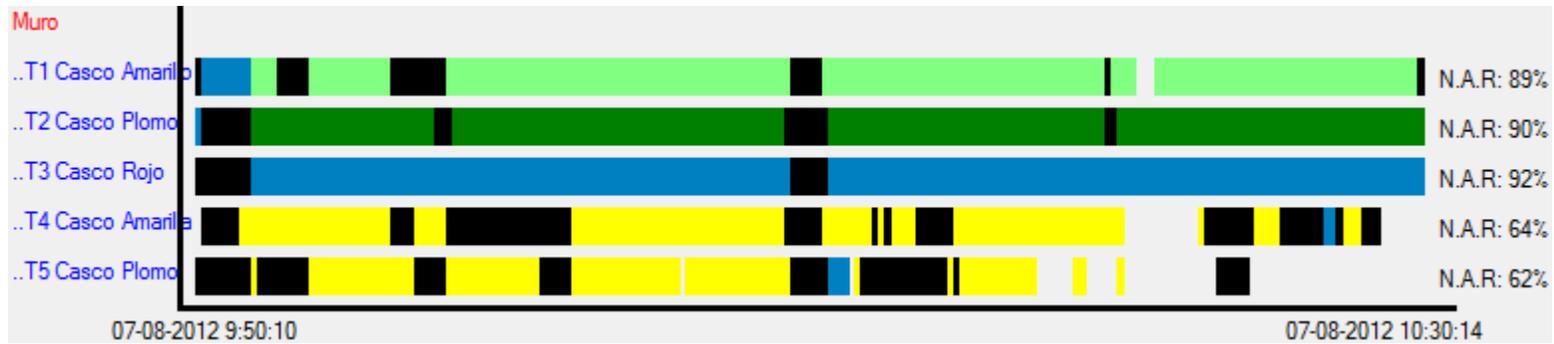


Figura 52: Carta de balance hormigonado de muro, 7 de agosto.

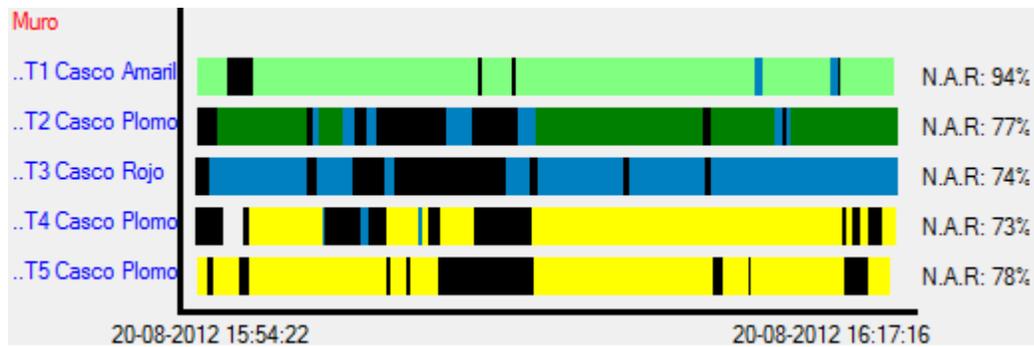


Figura 53: Carta de balance hormigonado de muro, 20 de agosto.



Trabajador	Nivel de actividad real		Coeficiente de participación		Nivel de actividad relativo	
	7 de agosto	20 de agosto	7 de agosto	20 de agosto	7 de agosto	20 de agosto
T1 Vaciador	89%	94%	0,97	0,99	86%	94%
T2 Vibrador	90%	77%	0,98	0,99	88%	76%
T3 Ayudante de Vibrador	92%	74%	0,98	1,00	91%	74%
T4 Acomodador 1	64%	73%	0,88	0,96	57%	70%
T5 Acomodador 2	62%	78%	0,70	0,99	44%	77%
<b>Total</b>	<b>81%</b>	<b>79%</b>	<b>0,90</b>	<b>0,99</b>	<b>73%</b>	<b>78%</b>

Tabla 16: Nivel de actividad y participación, 7 de agosto y 20 de agosto.

Fecha de la faena	Horas hombre	Hormigón vaciado	Productividad [ $m^3$ de hormigón vaciados/HH]
7 de agosto	3,34 HH	7,5 $m^3$	2,25
20 de agosto	1,91 HH	7,5 $m^3$	3,93

Tabla 17: Productividad, 7 de agosto y 20 de agosto.

#### 5.3.4. Horas hombre para realizar las mediciones

Se observa en la Tabla 18 que el tiempo necesario para realizar ambas cartas de balance es un 29% mayor de la forma manual que cuando se utiliza Panorám. Esta baja diferencia entre los distintos métodos se da por la baja velocidad de reproducción, y la baja velocidad de reproducción se debe al movimiento de la cámara de mano -si se reproducía más rápido no se notaban bien las tareas que realizaba cada trabajador-. No se contaba con un trípode cuando se grabó la faena, si se hubiese tenido uno la velocidad de reproducción hubiese sido 4x, reduciendo a la mitad el tiempo necesario para la medición: 48 min (ver las consideraciones para estos cálculos en Capítulo 3.4: Observaciones sobre la velocidad de medición, p. 36).

	Carta de balance	Duración de la faena	Tamaño de la cuadrilla	Velocidad de reproducción	Tiempo de captura	Tiempo de análisis	Tiempo total
Medición con Panoram	7 de agosto	40 min	5	2x	60 min	0	60 min
	20 de agosto	23 min	5	2x	35 min	0	35 min
	Total						95 min
Método manual	7 de agosto	40 min	5	1x	40 min	30 min	70 min
	20 de agosto	23 min	5	1x	23 min	30 min	53 min
	Total						123 min

Tabla 18: Comparación de tiempos de medición, con Panoram y manual.

## 5.4. Caso D, productividad

### 5.4.1. Antecedentes previos

A continuación se presentan el proceso medido, el nombre de la obra, la cantidad y las fechas de las mediciones que se hicieron.

---

Proceso: hormigonado de muro mediante bombeo

Obra: Proyecto 3

Mediciones realizadas: 2 cartas de balance (productividad):

1° medición	Fecha: 21 de agosto del 2012		
	1° Camión	Hora inicio: 16:44	Hora término: 17:01
	2° Camión	Hora inicio: 17:55	Hora término: 18:19
	Tiempo total de muestreo: 40 min		
2° medición	Fecha: 13 de septiembre del 2012		
	1° Camión	Hora inicio: 15:59	Hora término: 16:16
	2° Camión	Hora inicio: 16:32	Hora término: 16:54
	Tiempo total de muestreo: 38 min		

---

Los muros hormigonados en esta medición son de albañilería (ICF) y armados. El 21 de agosto fue la primera vez que se hormigonó una casa que combina estos muros, antes solo se había trabajado en casas con muros de albañilería.

Este proceso es realizado en su totalidad por trabajadores de la Empresa 3. El 21 de agosto la cuadrilla estaba formada por 6 trabajadores: 1 vaciador, 1 vibrador, 1 ayudante de vibrador, 2 acomodadores y 1 ayudante (ver Figura 54). El 13 de septiembre se prescindió de los servicios del ayudante por lo que la faena la realizaron 5 trabajadores: 1 vaciador, 1 vibrador, 1 ayudante de vibrador y 2 acomodadores (ver Figura 55).



Figura 54: Identificación de trabajadores en la medición del 21 de agosto.



Figura 55: Identificación de trabajadores en la medición del 13 de septiembre.

La secuencia constructiva es así (ver Figura 56): llegan el camión-mixer y el camión-bomba, este último se instala -tiene un sistema de 4 patas que necesitan estar bien apoyadas para mantener la estabilidad- y luego se ceba. El hormigón es bombeado, pasa del camión-mixer al camión-bomba, el vaciador sostiene y mueve la manga, los acomodadores sostienen las tablas para que el hormigón sea encausado y no se desparrame fuera del moldaje. De ahí entra el vibrador y su ayudante.

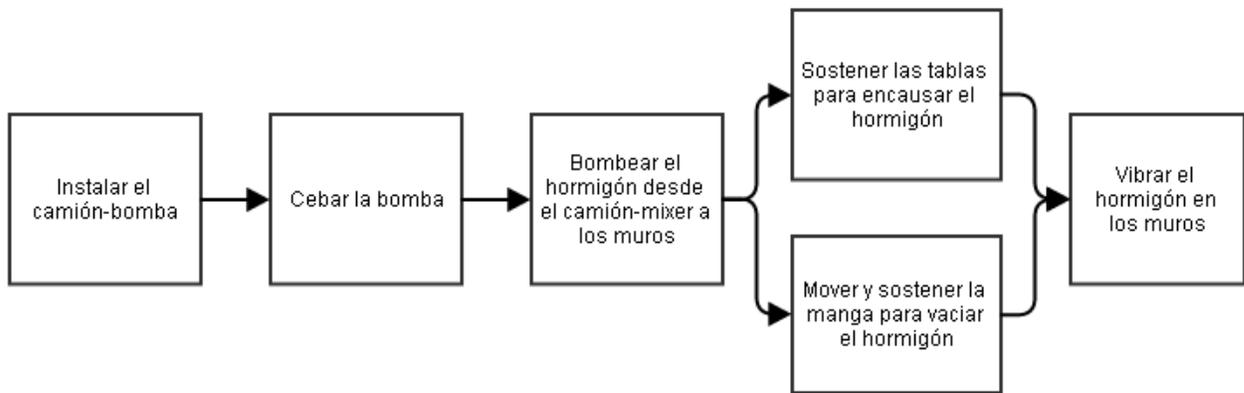


Figura 56: Secuencia de hormigonado de muros usando camión-bomba.

Tanto el 21 de agosto como el 13 de septiembre se midió desde que comenzó el vaciado del hormigón -el momento que empieza a salir hormigón por la manga- hasta que se vació completamente el camión. Los camiones de la 1° medición llevaban 7,5 m<sup>3</sup> de hormigón cada uno. En la 2° medición, su carga era de 8 m<sup>3</sup>.

#### 5.4.2. Resultados 1° medición

El trabajo no contributivo de la cuadrilla fue 33% (ver Figura 57) y el trabajador con más bajo nivel de actividad real fue el ayudante -trabajador 6- con un 11% (ver Tabla 19). Esto último es lo que más afecta para aumentar el trabajo no contributivo, el nivel de actividad real promedio de los 5 trabajadores, sin contar al T6 Ayudante, es de 78%. Sus intervenciones fueron vaciar hormigón por el exterior de la casa y luego vibrarlo, entre otras tareas menores.

El vaciado de hormigón comenzó 1h 45min más tarde de lo planificado, este retraso fue porque no llegaron a la hora ni el camión-mixer ni el camión-bomba. También hubo problemas para que se instalara el camión-bomba. Demoraron 16 minutos en vaciar el 1° camión y 23 minutos el 2°. Pasaron 48 minutos entre que se fue el 1° camión y llegó el 2°, y cuando llegó este hubo problemas con la bomba por lo que estuvo 6 minutos más esperando.

Es por los puntos anteriores que se recomendó prescindir de los servicios del T6 Ayudante, asignarlo a otras tareas. También estar preparado cuando lleguen los camiones -mixer y bomba- para no tener retrasos tan amplios como 1h 45min.

#### 5.4.3. Resultados 2° medición y análisis

Se prescindió de los servicios del T6 Ayudante como se recomendó por lo que el N.A.R. subió de 67% -21 de agosto- a 76% en esta medición (ver Tabla 19). El trabajo

no contributorio bajó de 33% a 24% (ver Figura 57). La velocidad de avance no se vio afectada al disminuir el tamaño de la cuadrilla, el 1° camión demoró 16 minutos en ambas mediciones en ser vaciado. La cuadrilla demoró 21 minutos el 13 de septiembre y 23 minutos el 21 de agosto en vaciar el 2° camión.

Se disminuyó en 17% la cantidad de HH para esta faena sin afectar la velocidad de avance y sin aumentar la carga de trabajo del resto de la cuadrilla -78% el 21 de agosto y 76% el 13 de septiembre-.

La productividad aumentó 36%, pasando de 3,70 [m<sup>3</sup> vaciados/HH] a 5,03 [m<sup>3</sup> vaciados/HH] (ver Tabla 20).

Trabajador	Nivel de actividad real		Coeficiente de participación		Nivel de actividad relativo	
	21 de agosto	13 de sept.	21 de agosto	13 de sept.	21 de agosto	13 de sept.
T1 Vaciador	83%	83%	0,99	1,00	83%	83%
T2 Vibrador	91%	82%	0,97	0,99	88%	81%
T3 Ayudante de Vibrador	90%	78%	0,97	0,99	87%	77%
T4 Acomodador 1	64%	69%	0,96	1,00	62%	68%
T5 Acomodador 2	64%	69%	0,97	0,99	62%	68%
T6 Ayudante	11%	-	0,96	-	11%	-
<b>Total</b>	<b>67%</b>	<b>76%</b>	<b>0,97</b>	<b>0,99</b>	<b>65%</b>	<b>76%</b>

Tabla 19: Nivel de actividad y participación, 21 de agosto y 13 de septiembre.

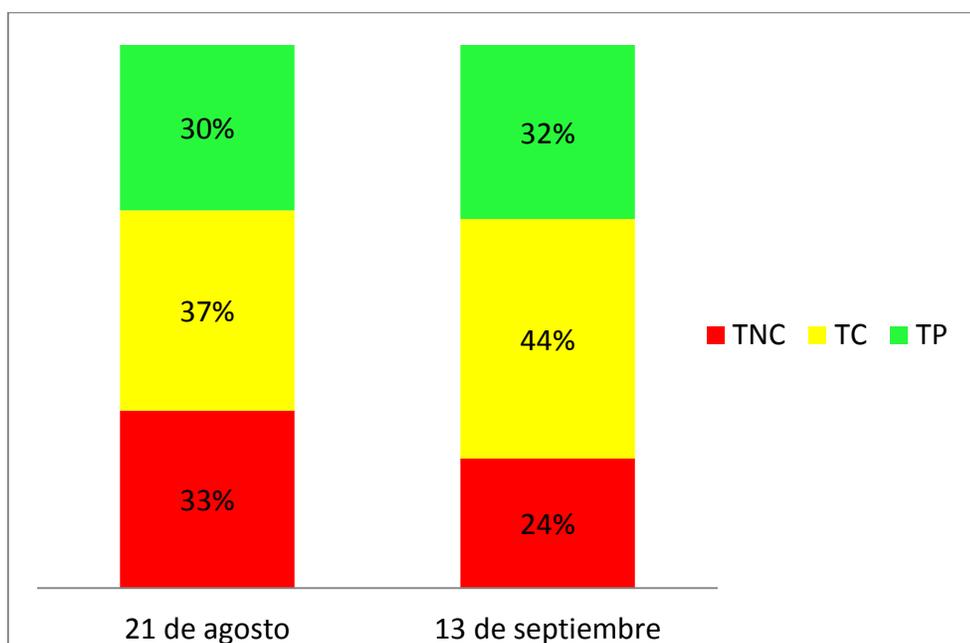


Figura 57: Nivel de actividad promedio, 21 de agosto y 13 de septiembre. TNC: Trabajo no contributivo; TC: Trabajo contributivo; TP: Trabajo productivo.

Fecha de la faena	Horas hombre	Hormigón vaciado	Productividad [ $m^3$ de hormigón vaciados/HH]
21 de agosto	4,05 HH	15 $m^3$	3,70
13 de septiembre	3,18 HH	16 $m^3$	5,03

Tabla 20: Productividad, 21 de agosto y 13 de septiembre.

#### 5.4.4. Horas hombre para realizar las mediciones

Se observa en la Tabla 21 que el tiempo necesario para realizar ambas cartas de balance es un 18% mayor de la forma manual que cuando se utiliza Panorám. Esta baja diferencia entre los distintos métodos se da por la baja velocidad de reproducción, y la baja velocidad de reproducción se debe al movimiento de la cámara de mano -si se reproducía más rápido no se notaban bien las tareas que realizaba cada trabajador-. No se contaba con un trípode cuando se grabó la faena, si se hubiese tenido uno la velocidad de reproducción hubiese sido 4x, reduciendo a la mitad el tiempo necesario para la medición: 59 min (ver las consideraciones para estos cálculos en Capítulo 3.4: Observaciones sobre la velocidad de medición, p. 36).

	Carta de balance	Duración de la faena	Tamaño de la cuadrilla	Velocidad de reproducción	Tiempo de captura	Tiempo de análisis	Tiempo total
Medición con Panoram	21 de agosto	40 min	6	2x	60 min	0	60 min
	13 de sept.	38 min	5	2x	57 min	0	57 min
	Total						117 min
Método manual	21 de agosto	40 min	6	1x	40 min	30 min	70 min
	13 de sept.	38 min	5	1x	38 min	30 min	68 min
	Total						138 min

Tabla 21: Comparación de tiempos de medición, con Panoram y manual.

## 5.5. Resumen de los casos

Caso A		
Proyecto 2 - Productividad - Movimiento de la grúa - 35 rutas de grúas - Capítulo 5.1, p. 57	Oportunidad de mejora - Mayor supervisión	Resultado - Disminución del tiempo muerto de 11% a 8% entre la primera y última semana, con un <i>peak</i> de 31% en la 2ª semana - 1369 min (22,8 HH) para realizar las mediciones
Caso B		
Proyecto 2 - Seguridad - Obra en general - 8 muestreos de seguridad - Capítulo 5.2, p. 63	Oportunidad de mejora - Presentar los videos de acciones riesgosas obtenidas por Panoram en las reuniones de seguridad de la obra	Resultado - El trabajo no seguro disminuye de 22% en la 1ª semana a 3% en la última - 288 min (4,8 HH) para realizar las mediciones
Caso C		
Proyecto 3 - Productividad - Hormigonado de muro mediante bombeo - 2 cartas de balance - Capítulo 5.3, p. 68	Oportunidad de mejora - Tener los aplomados y los andamios listos antes de empezar a hormigonar	Resultado - La productividad aumenta 75% - 95 min (1,6 HH) para realizar las mediciones
Caso D		
Proyecto 3 - Productividad - Hormigonado de muro mediante bombeo - 2 cartas de balance - Capítulo 5.4, p. 74	Oportunidad de mejora - Disminuir el número de trabajadores de 6 a 5	Resultado - El nivel de actividad real de la cuadrilla aumenta de 67% a 76% y la productividad aumenta 36% - 117 min (2HH) para realizar las mediciones

## **6. COMENTARIOS Y CONCLUSIONES**

### **6.1. Conclusiones de los casos con mejoras potenciales**

Uno de los objetivos específicos era presentar casos con mejoras potenciales, es decir, donde las oportunidades entregadas por el equipo de GEPUC no fueron llevadas a cabo por la gerencia de obra. Se escogieron aquellos donde las oportunidades eran claras, fáciles de implementar y se presumía un impacto importante. Se tienen 3 casos que fueron presentados en el Capítulo 4: Casos con mejoras potenciales.

En el Capítulo 4.1: Caso Alfa, productividad, se midió el hormigonado de losa mediante bombeo en un edificio habitacional. El impacto potencial es el aumento del nivel de actividad real de la cuadrilla de 48% a 66%. El factor determinante en este aumento es la disminución del número de trabajadores de la cuadrilla de 8 a 6. En la primera medición que se hizo -habían 6 obreros- se observó que esta reducción de la cuadrilla no significaría una sobreexigencia y que era posible realizar de manera correcta la faena.

En el Capítulo 4.2: Caso Beta, productividad, se midió el hormigonado de muros armados mediante bombeo en un edificio habitacional. El impacto potencial es el aumento del nivel de actividad real de la cuadrilla de 49% a 67%. El factor determinante en este aumento es la disminución del número de trabajadores de la cuadrilla de 3 a 2. Esta reducción de la cuadrilla no significaría una sobreexigencia para los obreros.

En el Capítulo 4.3: Caso Gamma, productividad, se midió el hormigonado de muros de albañilería con carretillas en viviendas. El impacto potencial es el aumento del nivel de actividad real de la cuadrilla de 65% a 82%. El factor determinante en este aumento es la reasignación de funciones dentro de la cuadrilla para aprovechar mejor a los obreros participantes y para que el cansancio sea menor, el esfuerzo físico se distribuirá entre más trabajadores. Así el ritmo de trabajo no decaerá tanto en el tramo final de la faena como ocurrió en la medición que se hizo.

Con estos casos se da por cumplido de manera satisfactoria el objetivo específico planteado, se observan casos donde la mejora era clara y la oportunidad era concreta al problema planteado.

Luego se pueden analizar los recursos utilizados -horas hombre de analistas- para obtener las oportunidades de mejora y ver qué tan conveniente es utilizar el sistema Panoram. En la Tabla 22 se observan estos datos y se aprecia la baja cantidad de horas hombre utilizadas en los tres casos -Alfa, Beta y Gamma- y los buenos resultados potenciales.

Caso	Recursos usados [HH de analistas]	Impacto potencial
Caso Alfa, productividad	1,6 HH	Aumento del nivel de actividad real de la cuadrilla, de 48% a 66%
Caso Beta, productividad	2 HH	Aumento del nivel de actividad real de la cuadrilla, de 49% a 67%
Caso Gamma, productividad	3,2 HH	Aumento del nivel de actividad real de la cuadrilla, de 65% a 82%

Tabla 22: Recursos usados y mejoras potenciales en cada caso.

## 6.2. Conclusiones del estudio de casos

En el Capítulo 5: Estudio de casos, se incluyeron todos aquellos casos donde la gerencia de obra tomó acción de acuerdo a las oportunidades presentadas por el equipo de GEPUC. Se presentaron y analizaron 3 casos de productividad y 1 de seguridad.

En el único caso -caso de rutas de grúas (Capítulo 5.1: Caso A, productividad, p. 57)- donde no hubo una mejora tan drástica, hablando porcentualmente, fue en el único donde no se dio una oportunidad de mejora específica al problema y solo se le sugirió a la gerencia que aumentara la supervisión sobre la grúa, una recomendación muy amplia y general. El porcentaje de tiempo muerto con carga o sin carga pasó de 11% en la primera semana a 8% en la última que se midió, pasando por un *peak* de 31% en la segunda semana.

En el Capítulo 5.2: Caso B, seguridad, el trabajo no seguro en la obra –edificio habitacional- tuvo una trayectoria, a través de las 4 semanas que se midieron, así: 22% en la primera, 22% en la segunda, 9% en la tercera y 3% en la última. La oportunidad de mejora -presentar videos de acciones sub-estándares tomados de la propia obra a los trabajadores en las reuniones semanales de seguridad- se comenzó a aplicar luego de la segunda semana, es decir, su impacto es a partir de la 3° semana medida. Y se observa que el impacto de Panoram es positivo, la baja del trabajo no seguro es clara.

En el Capítulo 5.3: Caso C, productividad, se midió el hormigonado de muros de viviendas de albañilería. La productividad de la cuadrilla hormigonera subió 75%, pasando de 2,25 [m<sup>3</sup> vaciados/HH] en la primera medición a 3,93 [m<sup>3</sup> vaciados/HH] en la segunda. El factor determinante para el aumento de la productividad fue la disminución del tiempo de vaciado de un camión-mixer, que pasó de 40 minutos a 23 minutos. Para lograr esto, a los integrantes de la cuadrilla no se les exigió más -el nivel de actividad real incluso disminuyó de 81% a 79%- . Lo que ocurrió fue que se planificó mejor y los trabajos previos al hormigonado de muros -andamios y aplomados- estaban listos antes de empezar la faena, como se recomendó a la gerencia de obra. La primera

carta de balance realizada ayudó a descartar otros factores que podrían haber influido en la lentitud del trabajo. Se observa un impacto positivo al usar Panoram.

En el Capítulo 5.4: Caso D, productividad, se midió el hormigonado de muros de viviendas de albañilería y hormigón. La productividad de la cuadrilla hormigonera subió 36%, pasando de 3,70 [m<sup>3</sup> vaciados/HH] en la primera medición a 5,03 [m<sup>3</sup> vaciados/HH] en la segunda. El trabajo no contributorio disminuyó de 33% a 24%. La razón de esta mejoría en la productividad fue la disminución en el número de integrantes de la cuadrilla, que pasó de 6 a 5. A pesar de quitar a un trabajador de la cuadrilla el nivel de actividad real de los 5 obreros que permanecieron disminuyó de 78% a 76%, no se les exigió más. La primera carta de balance realizada mostró claramente como uno de los trabajadores participaba muy poco en la faena -tuvo un nivel de actividad real de 11%-, por lo que la oportunidad de mejora era clara. El impacto de Panoram es positivo en este caso.

Considerando los casos anteriores, Panoram tiene una influencia positiva en el mejoramiento de la productividad y de la seguridad de una obra, lo que prueba la hipótesis.

Luego hay que analizar los recursos utilizados -horas hombre de analistas- para obtener las oportunidades de mejora, tanto en productividad como en seguridad, y ver qué tan conveniente es utilizar el sistema Panoram. En la Tabla 23 se observan estos datos y se aprecia la baja cantidad de horas hombre utilizadas en los últimos tres casos -B, C y D- y los buenos resultados obtenidos.

Caso	Recursos usados [HH de analistas]	Impacto medido
Caso A, productividad	22,8 HH	Disminución del tiempo muerto del recurso grúa, pasó de 11% a 8%
Caso B, seguridad	4,8 HH	Disminución del trabajo no seguro en la obra, pasó de 22% a 3%
Caso C, productividad	1,6 HH	Aumento de productividad en el hormigonado de muros de albañilería, subió 75%
Caso D, productividad	2 HH	Aumento de productividad en el hormigonado de muros de albañilería y armados, subió 36%

Tabla 23: Recursos usados y mejoras obtenidas en cada caso.

### 6.3. Comentarios generales

Se realizaron 114 mediciones de productividad y seguridad durante el desarrollo de este estudio, solo 8 se incluyeron en el Capítulo 4 y 47 se incluyeron en el Capítulo 5 (ver Tabla 2, p. 8). Se tienen dos razones para esto: primero, las oportunidades de mejora no eran lo suficientemente convincentes, no eran claras, no se podían implementar o simplemente eran malas oportunidades de mejora y lo que se estaba haciendo era más productivo que lo que se recomendaba. Segundo, los profesionales a cargo no están abiertos a innovaciones, según Serpell (2002) esta es una de las características de la industria de la construcción, la actitud mental: falta de cuestionamiento de lo que se hace, métodos de trabajo, etc.; se considera que lo tradicional es eficiente; y falta de desafío para mejorar el desempeño -calidad y productividad-.

Panoram se encuentra en una fase de prueba y mejoramiento, por esto no se contó con algunas herramientas que hubiesen permitido un desarrollo más rápido y más completo, como: exportar las tablas con los resultados a Excel no funciona, el módulo de rutas grúas no funciona y el programa se congela reiteradamente si la velocidad del video es puesto a 8x.

También aumentó las horas hombre de los analistas el problema para pasar los videos desde la obra al computador del personal de GEPUC. Se debían ir a buscar los videos a obra, siendo este un método ineficiente, sobre todo si se trata de obras ubicadas en los extremos de la ciudad, más todavía con el actual colapso en el transporte público y privado. Una solución a este problema se intentó pero fracasó: mediante tecnología *wi-fi* copiar los videos desde el servidor de la obra al servidor de GEPUC, las conexiones lentas y el uso compartido de la red hicieron inviable este método.

Se debe notar que medir con cámara de video de mano también aumenta la ineficiencia: el tiempo en transportarse a la obra, el tiempo que se está midiendo, el comportamiento de los trabajadores se ve más afectado que con una cámara fija, el dinero que significa transportarse a obras lejanas -peajes, gasolina, desgaste del vehículo-.

Se sugiere, por los dos puntos descritos anteriormente, que si se tiene un contrato con una empresa constructora por un plazo de varios meses, lo mejor es una cámara fija y la instalación de una conexión de internet propia en la obra para copiar los videos al servidor de GEPUC. Esto disminuirá los costos y las horas hombre necesarias para llevar a cabo cada medición, y se tendrán los videos más recientes rápidamente con los cuales se podrán tomar medidas correctivas a tiempo.

Otro tema importante para quienes usen el sistema es: ¿Panoram es mejor que las mediciones a mano? En esta pregunta se deben ponderar varios factores: el

impacto del proceso de medición sobre el comportamiento de los trabajadores. Todos cambian su actuar al saber que están siendo observados, aunque este cambio es menor si: se trata de una cámara fija que está las 24 horas grabando, la cámara se encuentra lejos de nuestra posición, y se trata de una obra lo suficientemente grande y no sabemos qué sector está siendo grabado. El impacto es mayor si se tiene una persona cerca de la faena observando solo por un breve lapso de tiempo.

Otro factor para tener en cuenta son las horas hombre necesarias para realizar cada medición, con Panoram se puede medir hasta 8 veces la velocidad normal, el autor de este estudio medía a 4x y a 2 trabajadores en cada reproducción. Durante el desarrollo individual de los casos (Capítulos 4 y 5) se presentó la ventaja -en cuanto a horas hombre- que significa usar Panoram vs. el método manual. Esta ventaja se observa sobre todo en los muestreos de seguridad (ver Tabla 15, p. 66).

Considerando lo anterior, se ve que el sistema Panoram es superior a las mediciones manuales, tanto por la realidad medida -menor impacto en el comportamiento de los trabajadores- como por las horas hombre necesarias para realizar la medición.

#### **6.4. Comentarios sobre las cartas de balance**

La carta de balance fue la medición más utilizada en este estudio -en cuanto a casos donde se hizo presente, 3 casos en el Capítulo 4 y 2 en el Capítulo 5-. Al saber cómo funciona una faena y cada uno de sus integrantes, se pueden dar oportunidades de mejora específicas al problema.

Dados los casos expuestos en este informe, se recomienda usar la carta de balance cuando se quiera innovar en alguna faena o cuando se realice por primera vez un trabajo que se repetirá varias veces en el futuro. Esto ocurrió en el Caso D, productividad (Capítulo 5.4), era la primera vez que se hormigonaba una casa que combinaba muros de albañilería y armados, y se observó claramente en la carta de balance que el tamaño de la cuadrilla no era el óptimo.

#### **6.5. Comentarios sobre las rutas de grúas**

La ruta de grúa se utilizó solo en el Caso A, productividad (Capítulo 5.1). Debido a que durante este estudio se tuvo que usar el módulo de cartas de balance para crear las rutas de grúas, la información entregada por Panoram no era toda la que se necesitaba para dar una oportunidad de mejora concreta. Faltó saber, por ejemplo, desde y hacia qué zonas se transportaba cada material. Así se sabrían las rutas más solicitadas y se podría analizar si se requiere alguna reubicación. También se conocería la cantidad de material que se transporta dentro de un mismo sector y se analizaría si se puede usar otra forma de transporte para ello y así liberar la grúa.

Se recomienda también, dada la experiencia, que se mida durante la mañana y la tarde -como se hizo en las últimas mediciones de rutas de grúas- para tener una mejor visión del comportamiento de la grúa, más cercana a la realidad.

## **6.6. Comentarios sobre los muestreos de seguridad**

Los muestreos de seguridad sirven para medir los porcentajes de trabajo seguro - no seguro en una obra. No sirven para saber el porqué de esos porcentajes. Pero mientras se realiza la medición se observan las distintas acciones de los trabajadores y su entorno, pudiendo el analista tomar nota sobre esto y presentar las notas a la gerencia de obra. Esta es la forma para aprovechar la herramienta.

También se recomienda, aparte de tomar notas, realizar videos con las acciones y condiciones sub-estándares que se observan mientras se realiza el muestreo. Los videos probaron ser un medio muy efectivo para reducir las conductas riesgosas de los trabajadores (Capítulo 5.2: Caso B, seguridad).

## **6.7. Desarrollos futuros**

Las líneas investigativas que se pueden seguir es ampliar a otro tipo de obras estudios como este, como por ejemplo, a obras civiles, a construcción de hospitales - por su complejidad-, a construcciones de acero. Y ver el posible impacto de Panoram en sus faenas.

Se propone realizar más investigaciones sobre el impacto en seguridad en obra porque en el presente estudio solo se analizó un caso. La seguridad ha tomado gran importancia en la industria de la construcción y sería muy atractivo para ellos contar con una herramienta probada.

Se propone crear videos 5S + IPA en lugar de tarjetas. El impacto de los videos es importante en la mejora de la seguridad en obra y una forma de facilitar la obtención de videos con acciones no seguras es crear una opción en Panoram para poder crearlos directamente. Esta opción debe estar presente también en el módulo de productividad ya que en obra eran requeridos videos con ejemplos de trabajo no contributivo y *clips* con las distintas etapas de una faena.

Se presenta la idea de automatizar aún más Panoram. Que el sistema detecte patrones de imágenes y así, por ejemplo, pueda saber, sin la intervención humana, qué material está transportando la grúa.

## 7. BIBLIOGRAFÍA

AL-ALKAMI, M., ALI, M. y AL-QAHTANI, M. 2007. Productivity study on a selected construction site. Arabia Saudita. 46p.

ALARCÓN, L. Y MARTÍNEZ, L. Y SANTANA, J. 1989. Experiencias en el estudio de la productividad en la construcción. Revista de ingeniería de construcción. (6).

ALARCÓN, L. 2001. Identificación y reducción de pérdidas en la construcción: herramientas y procedimientos. Santiago, LOM Ediciones Ltda. 80p.

AL-GHAMDI, A., AL-HATILAH, N. y AL-BAROUT, M. 2007. Productivity study on a selected construction site. Arabia Saudita. 28p.

CENTRO DE EXCELENCIA EN GESTIÓN DE PRODUCCIÓN de la Pontificia Universidad Católica de Chile. 2003. Estudio de métodos de trabajo a través de cartas de balance. Santiago. 43p.

DE ST. AUBIN, P. 2008. Diseño de un sistema de captura de datos de productividad y prevención de riesgos por medio de videos digitales. Tesis de Magíster de Ingeniero Civil. Santiago, Pontificia Universidad Católica de Chile, Escuela de Ingeniería. 173p.

MORA, M. 2009. Utilización de imágenes digitales para el mejoramiento de la productividad de operaciones de construcción. Memoria de Ingeniero Civil. Santiago, Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas. 135p.

MUTUAL DE SEGURIDAD. 2012. Compartiendo buenas prácticas de prevención de riesgos. En: 17° JORNADA DE PREVENCIÓN de riesgos CChC: prendiendo la luz: sustentabilidad del negocio: 25 de octubre de 2012. Mutual de Seguridad y Cámara Chilena de la Construcción. 133p.

NORMA CHILENA OFICIAL. NCh436.Of2000. Prevención de accidentes del trabajo - Disposiciones generales. 14p.

OGLESBY, C., PARKER, H. Y HOWELL, G. 1989. Productivity improvement in construction. Estados Unidos, Mc Graw-Hill. 588p.

SERPELL, A. y VERBAL, R. 1990. Análisis de operaciones mediante cartas de balance. Revista Ingeniería de Construcción. (9).

SERPELL, A. 2002. Administración de operaciones de construcción. 2ª ed. México, Alfaomega. 291p.

SOSSDORF, D. 2009. Utilización de imágenes digitales para el mejoramiento de la seguridad y prevención de riesgos en obras de construcción. Memoria de Ingeniero Civil. Santiago, Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas. 193p.

UTILIZACIÓN DE IMÁGENES Y VIDEOS DIGITALES para el mejoramiento de la productividad y prevención de riesgos en operaciones de construcción. [s.a.]. Por Luis Alarcón "et al". Santiago.

YIN, R. 2003. Case study research: design and methods. 3rd ed. Estados Unidos, Sage publications. 179p.