

Universidad de los Andes

Facultad de Ingeniería

Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental



**Propuesta de mejoramiento de la productividad en el edificio Mario  
Laserna, utilizando la técnica del Time-Lapse  
ICIV 200610 13**

Hernando Mereb Rodriguez Arana

Asesor: Ingeniero Javier Prieto MSc.

Bogotá D.C., Mayo de 2006



## CONTENIDO

	<b>Pág. #</b>
AGRADECIMIENTOS.....	4
1. INTRODUCCIÓN.....	5
OBJETIVOS.....	6
Objetivos Principales .....	6
Objetivos Secundarios .....	6
ANTECEDENTES .....	7
Antecedentes Globales.....	7
Antecedentes en la Universidad de los Andes .....	8
JUSTIFICACIÓN.....	9
El edificio .....	10
METODOLOGÍA.....	11
RESULTADOS ESPERADOS .....	15
2. HERRAMIENTAS UTILIZADAS: HARDWARE Y SOFTWARE.....	16
EQUIPO.....	16
FILMACIÓN.....	18
DESCARGA Y EDICIÓN .....	18
CREACIÓN DEL DVD .....	23
3. PROPUESTA DE MEJORAMIENTO.....	26
ALCANCE DE LA INVESTIGACIÓN.....	26
PROPUESTAS.....	27
REUNIÓN CON JAVIER PRIETO.....	33
REUNIÓN CON GERMÁN BAQUERO .....	35
RECOMENDACIONES PARA FUTURAS INVESTIGACIONES.....	42
Identificar principales actividades en el video.....	42
Identificar tiempos en el video .....	43



Permitir la reproducción del video a distintas velocidades. ....	43
Identificar días festivos y fines de semanas.....	44
Comparar los resultados con los obtenidos con el mecanismo actual de control en la obra .....	44
Coordinar y comprometer a los interesados e involucrados.....	44
Realizar una entrevista previa al análisis .....	45
Comprobar rendimientos y productividad en horas extras.....	45
CONCLUSIONES.....	46
BIBLIOGRAFÍA.....	48
ANEXOS.....	50



## AGRADECIMIENTOS

*A Dios, que ha estado presente en cada momento de mi vida.*

*A mi familia, por su apoyo, exigencia y motivación que me brindaron.*

*A Javier Prieto, mi asesor, por guiarme en la correcta realización de este proyecto.*

*A Germán Baquero, de la interventoría PAYC S.A. y a Cesar Mesa, instructor del Bosque Virtual, por su amable colaboración.*



## 1. INTRODUCCIÓN


En la búsqueda del aumento de la productividad en proyectos de construcción, se han desarrollado e implementado herramientas cada vez más modernas y efectivas que conlleven a lograr este objetivo en obras en ejecución o por ejecutar y que aporten al registro histórico para obras futuras.

La productividad es un aspecto clave para la gerencia de proyectos. Una baja productividad genera aumento en el tiempo de ejecución del proyecto, aumento en los recursos necesarios y por ende, a grandes pérdidas de dinero.

Por este motivo se ha incorporado el Time-Lapse a la ingeniería civil como herramienta de control en obra. Esta herramienta consiste en grabar pequeños lapsos de video cada intervalo de tiempo, para luego ser observados y analizados en conjunto, y así establecer causas de improductividad en un proyecto para lograr corregirlas a tiempo, o establecer elementos de mejoras para incorporarlos al mismo.

La ventaja de esta herramienta consiste en que el registro puede ser visto, detallado y analizado posteriormente. Además, se logra reducir el tiempo real de construcción para captar solo el detalle requerido.

En el caso de este proyecto, se tomará medio segundo de video cada 10 minutos, con lo cual se obtiene un video de 36 minutos que muestra las actividades de un mes de obra a nivel general, durante el día y la noche. Este video pasa a ser editado, dejando solo el tiempo de trabajo, obteniendo así un video de hasta 18 minutos.

	Propuesta de mejoramiento de la productividad en el edificio Mario Laserna, utilizando la técnica del Time-Lapse	ICIV 200610 13
---	--	----------------

Este proyecto busca aplicar una metodología para obtener resultados del material gráfico obtenido, basado en la técnica Time-Lapse y de esta manera generar un estimativo de la productividad en la construcción del edificio Mario Laserna.

## **OBJETIVOS**

### **Objetivos Principales**

- Encontrar una metodología de análisis del Time-Lapse, viable y de fácil implementación.
- Proponer elementos de mejoramiento de la productividad del proyecto de construcción del edificio Mario Laserna.
- Generar un lineamiento para el control de obra para proyectos de construcción de edificaciones.

### **Objetivos Secundarios**

- Aportar al registro histórico actual, con la tecnología del Time-Lapse.
- Proponer sugerencias y mejoras para una posible continuación de este proyecto de grado o para otras investigaciones similares.



## ANTECEDENTES

Al iniciar con la documentación bibliográfica sobre la herramienta Time-Lapse y su aplicación a la ingeniería civil, se observó que esta es aún una herramienta de poco uso y difusión en el medio.

El uso de esta herramienta es notorio principalmente en las páginas de Internet relacionadas con la apreciación en tiempo real de paisajes o lugares importantes de las principales ciudades del mundo, donde se muestran imágenes del lugar actualizadas cada cierta fracción de tiempo.

También se usa para mostrar actividades que son difíciles de seguir por el ojo humano, pero que pueden llegar a ser muy notorias al observarlas si son capturadas en Time-Lapse, como por ejemplo el movimiento de las nubes, la descomposición de un alimento, el crecimiento de un árbol, entre otras.<sup>1</sup>

### Antecedentes Globales

Actualmente, se desarrollan o se han desarrollado diversas investigaciones y aplicaciones de esta herramienta en la construcción, aunque se han enfocado principalmente en el análisis de actividades particulares, para determinar rendimientos, deficiencias y aspectos para generar mejoras.

Estos análisis, generalmente, han brindado resultados satisfactorios para la actividad como tal, mas no para el proyecto como un todo.<sup>2</sup>

En estas investigaciones se enumeran recomendaciones y pasos a seguir cuando se desarrolla la implementación de la herramienta actividades particulares de una

---

<sup>1</sup> <http://en.wikipedia.org/wiki/Time-lapse>

<sup>2</sup> OGLESBY, Clarkson H, PARKER Henry W, HOWELL Gregory A, Productivity improvement in construction, McGraw-Hill BookCompany.(1989)



construcción, pero es muy poco lo que se ha encontrado sobre esta herramienta para análisis a nivel macro en un proyecto de construcción.

### **Antecedentes en la Universidad de los Andes**

En el departamento de Ingeniería Civil, se han desarrollado tesis de maestría y pregrado, con el fin de estudiar más a fondo el potencial aporte de esta herramienta en la construcción de obras civiles.

Particularmente, el Ingeniero Javier Prieto Osorio, profesor asociado del departamento de ingeniería civil, se ha interesado en la aplicación del Time-Lapse en la construcción del Edificio Mario Laserna, enfocado en el análisis de videos de la obra a nivel macro, asesorando tesis que desarrollan la técnica, encuentran metodologías de análisis y arrojan resultados positivos.

Las tesis realizadas son:

- **TIME-LAPSE: Herramienta para el seguimiento de proyectos de construcción vertical- Pedro Antonio Escobar Renjifo**

En este proyecto de grado se dio a conocer la herramienta, su definición y su uso.

Se desarrollaron los pasos para obtener el video, por medio de la descarga, edición y creación de DVDs, con el fin de que este resultado pueda ser observado y analizado por cualquier persona en cualquier parte y en cualquier momento.

Este proyecto carece de análisis de los videos obtenidos, pero da un paso significativo para el uso de esta herramienta.





➤ **MEJORAMIENTO DE LA PRODUCTIVIDAD EN LA CONSTRUCCIÓN DE EDIFICACIONES-** Sebastián Arango Correa

Este proyecto es el primer acercamiento concreto a las metodologías formales de análisis de los videos, y se plantean herramientas novedosas como el PM4D<sup>3</sup> de la Universidad de Stanford y algunas herramientas clásicas como los métodos probabilísticos.

Desafortunadamente, aun no se conoce el resultado final de esta investigación, por lo cual no se puede generar una alimentación de las propuestas y los resultados obtenidos.

Este proyecto de grado, titulado “PROPUESTA DE MEJORAMIENTO DE LA PRODUCTIVIDAD EN EL EDIFICIO MARIO LASERNA, UTILIZANDO LA TÉCNICA DEL TIME-LAPSE” consiste en la continuación de esta investigación y pretende arrojar los primeros resultados concretos sobre la importancia de esta herramienta en la ingeniería civil.

## **JUSTIFICACIÓN**

La relevancia de la ejecución de esta investigación en un proyecto como el Mario Laserna es significativa. En un proyecto con tal proporción e inversión como lo es este, cualquier ahorro de tiempo o recursos en una actividad que sea repetitiva a lo largo de la construcción, puede llevar a grandes ahorros en dinero. Además, el hecho de encontrar una fácil y efectiva implementación de la herramienta Time-Lapse, puede estimular su futuro uso como parte del control de productividad de próximas obras de construcción.

Esta herramienta ha sido usada anteriormente en obras de construcción, pero solo aplicada a actividades específicas y para los cuales se encuentran definidas metodologías de análisis

---

<sup>3</sup> PM4D Final Report



como balance de cuadrillas, posición de campo (field rating), estado de efectividad (productivity rating) y análisis de 5 minutos (5-minutes rating).<sup>4</sup>

## El edificio

Actualmente, la Universidad de los Andes, realiza una gran Proyecto de Renovación de la Facultad de Ingeniería (PREFI), el cual consta de una reforma curricular, que requiere de nuevos métodos y prácticas docentes, así como de nuevos lugares de trabajo, con una mejor infraestructura, equipada de espacios mas adecuados, equipos y laboratorios de ultima tecnología.<sup>5</sup>

Debido a esto, se está llevando a cabo la construcción de la nueva sede de la facultad de ingeniería, el edificio “Mario Laserna” (Ver Imagen 1), que cumplirá la función de albergar e integrar las distintas ingenierías, además de la docencia y la investigación.



**Imagen 1:** Modelo 3D del Edificio Mario Laserna

<sup>4</sup> OGLESBY, Clarkson H, PARKER Henry W, HOWELL Gregory A, Productivity improvement in construction, McGraw-Hill BookCompany, (1969)

<sup>5</sup> <http://renovacioningenieria.uniandes.edu.co/>



Este edificio, se construye en donde se encontraba ubicado el parqueadero Germania, adquirido por la universidad en 1979<sup>6</sup> y llamado así por que allí yacían las instalaciones de la antigua fábrica de cerveza del mismo nombre, fundada en 1905.

El edificio consiste en una construcción de 8 pisos y tres sótanos, sumando un área total de alrededor de 40.000m<sup>2</sup>, con lo cual se logra un crecimiento de cerca del 50% del área total actual de la universidad.

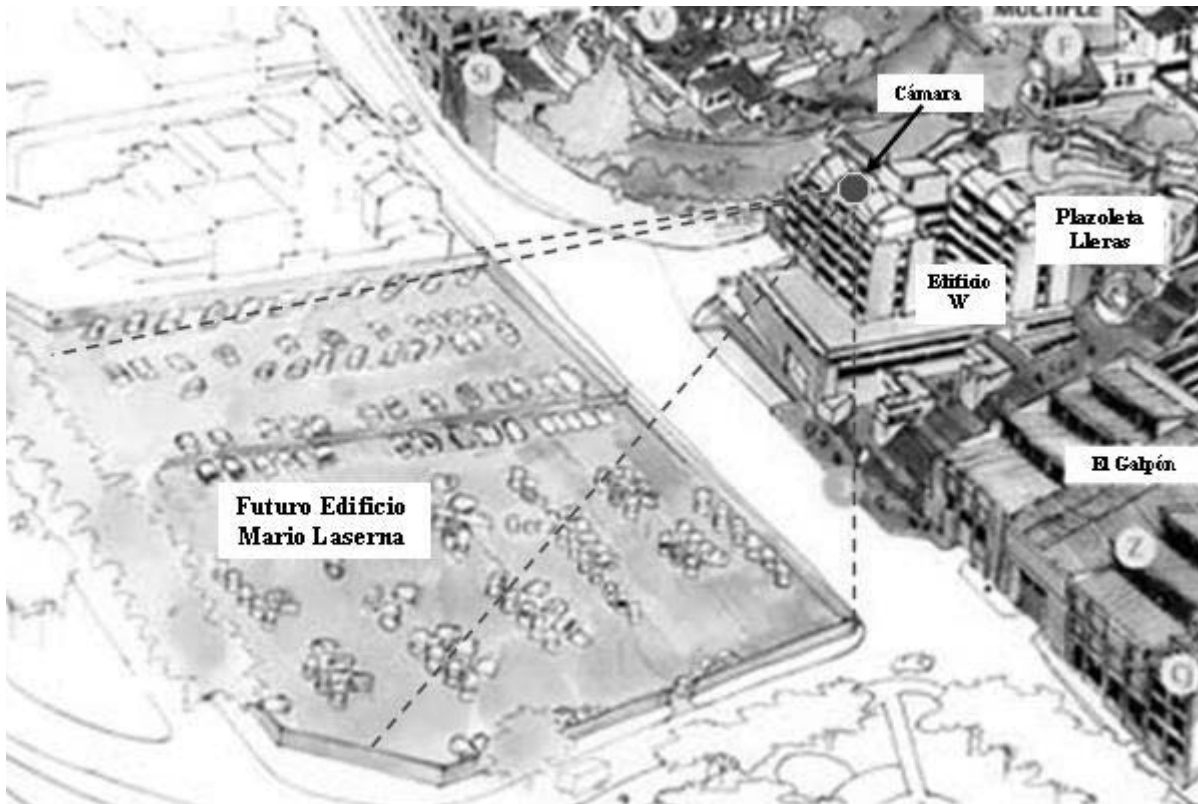
El costo estimado de la construcción y dotación es de aproximadamente \$120.000 millones, lo cual muestra claramente la importancia a nivel de inversión de esta edificación, y la relevancia de trabajar en este proyecto de grado en un seguimiento a esta obra de ingeniería.

## **METODOLOGÍA**

Para llevar a cabo este proyecto, es necesario en primera instancia, contar con el equipo adecuado para la captura de los videos. Este equipo debe estar ubicado de manera que en la filmación se pueda obtener la visión completa del sitio de construcción. Por esto, la cámara filmadora se ubicó en el último piso del edificio de ingeniería de la universidad (Edificio W), como se ve en la “Imagen 2”, desde donde toman videos en el modo Time-Lapse desde el inicio de la construcción del nuevo edificio en 2004.

---

<sup>6</sup> <http://notauniandina.edu.co/html/nota3/MarioLaserna.htm>



**Imagen 2:** Ubicación de la cámara filmadora

Aproximadamente cada mes, se descarga el video de la cámara, que consta de entre 35 y 40 minutos, de acuerdo con el tiempo transcurrido desde la última descarga. Este se edita, suprimiendo principalmente las noches y el audio, que no tienen relevancia en esta investigación. Una vez editado, se crea un nuevo archivo de video, que luego será convertido y grabado en un DVD.

Mientras se lleva a cabo el proceso de obtención del video en DVD, es necesario documentarse, para establecer las metodologías de análisis a las que será sometido el video y así de obtener resultados comparables y de alguna manera cuantificables sobre el estado de la productividad en la obra.



La metodología principal a aplicar para el análisis del material gráfico, consiste en realizar reuniones de expertos e interesados tanto en esta investigación, como en la construcción del edificio, con el fin generar discusiones sobre lo que cada uno observa, generándose ideas, propuestas y conclusiones sobre aspectos claves de la construcción.


Con el fin de establecer la metodología adecuada para analizar el material obtenido, se realizó una documentación bibliográfica, que resultó escasa debido al poco desarrollo que se le ha dado al tema a nivel mundial y a la relativa novedad de la aplicación de la técnica en la ingeniería civil.

Para el análisis de los estos videos por medio de opiniones de grupos de expertos, se han encontrado diversas sugerencias para entender mejor lo que se observa, y poder así generar mejores resultados. Entre estas sugerencias tenemos<sup>7</sup>:

- Es necesario formar grupos suficientemente grandes para que haya variedad de criterios y así un mejor aporte, pero también lo suficientemente pequeños como para que exista la suficiente concentración y sean escuchados los comentarios de cada observador. Estos grupos pueden estar compuestos por entre 4 y 10 expertos de las diferentes áreas a evaluar.
- Se debe correr el video entre 3 y 5 veces antes de empezar a detallar las deficiencias y mejoras de la construcción.
- El video debe ser reproducido a alta velocidad en las primeras repeticiones, para tener la idea general de lo que se está analizando. En las siguientes repeticiones, la velocidad irá disminuyendo y el detalle será mayor.
- Analizar sección por sección por sección e ir opinando y concluyendo sobre cada una de ellas.
- Al iniciar, reproducir el video de atrás hacia delante, también con el fin de tener una idea general del proyecto.

---

<sup>7</sup> Productivity improvement in construction

	<p>Propuesta de mejoramiento de la productividad en el edificio Mario Laserna, utilizando la técnica del Time-Lapse</p>	<p>ICIV 200610 13</p>
---	---	-----------------------

Otros métodos con los que se puede evaluar o de alguna manera cuantificar los resultados que brinda el video son los siguientes:

“Field ratings”, que consiste en observar el estado de los entes involucrados y clasificarlos en activos o no activos, en uso u en desuso, trabajando o descansando, entre otros, de acuerdo a la actividad que se quiera analizar.

“Productivity ratings”, que es mas detallado y clasifica a las actividades en efectivas, algo efectivas o no efectivas.


“5-minutes ratings”, donde se analizan actividades en particular, detalladamente y por corto tiempo.

Cuantificar los resultados del video puede ser otra opción efectiva para encontrar deficiencias, ya que una vez cuantificado, se puede evaluar lo obtenido con técnicas formales de análisis de datos.

La dificultad de aplicar en este proyecto estos últimos métodos sugeridos, consiste en que estos requieren una forma de identificación del personal, ya sea por colores o números portados en sus cascos o chalecos, para facilitar la cuantificación que se requiera. Además para su análisis se requiere una grabación entre intervalos mucho más cortos que lo que se manejan en este caso (medio segundo cada diez minutos).

Lo que se busca con un intervalo tan amplio es proponer un método de análisis a nivel macro, donde se puedan analizar meses de construcción en tan solo un par de horas. Debido a esto, se eligió el método del análisis por medio de reuniones de expertos, interesados e involucrados con la construcción.

Al intentar llevar a cabo esta reunión, nos enfrentamos al problema de disponibilidad de tiempo de los interesados en participar, por lo cual se decidió hacer varias copias de los videos y entregar una copia a cada uno de ellos, con el fin de que fueran analizados por

	Propuesta de mejoramiento de la productividad en el edificio Mario Laserna, utilizando la técnica del Time-Lapse	ICIV 200610 13
---	--	----------------

cada uno separadamente en el momento en que tuvieran disponibilidad y disposición, para que comentaran sus opiniones posteriormente.

Para lograr los resultados esperados, se espera contar con la colaboración de la empresa constructora, la interventoría, la dirección de planta física de la universidad y algunos profesores expertos en construcción y gerencia de proyectos.

## **RESULTADOS ESPERADOS**

Al finalizar este proyecto se espera haber aportado significativamente a la aplicación de la técnica Time-Lapse en la ingeniería civil, mostrándola como una herramienta eficiente en el control de productividad y de importante uso para detectar elementos de mejora en las obras de construcción.

Este proyecto busca ser el inicio de posteriores investigaciones y aplicaciones de la técnica, en donde se apliquen nuevas metodologías de análisis y maneras más eficientes de producción del video, con el fin de convertir esta en una herramienta más sencilla y fácil de implementar.

Además, se quiere que de este proyecto puedan surgir ideas que aporten en gran medida a la construcción del edificio Mario Laserna, que puedan ser aplicadas en el corto plazo y sean útiles durante los mas de 12 meses de construcción que todavía requiere para su entrega, generando ahorros en tiempo y dinero.



## **2. HERRAMIENTAS UTILIZADAS: HARDWARE Y SOFTWARE**

### **EQUIPO**

El equipo y los programas necesarios para la realización de este proyecto de grado son los siguientes:

- Cámara Filmadora: Que cuente con la opción de grabar por intervalos de tiempo
- Lente Gran Angular: Con el fin de tener una visión más amplia del sitio de construcción, ya que la cámara no se encuentra lo suficientemente lejos como para captar todo el sitio con su propio lente.
- Computador con quemador de DVD: Este computador debe contar con grandes capacidades para el manejo de gráficos, ya que estos videos son muy pesados y pueden hacer que el sistema operativo colapse en medio del proceso de descarga, edición y creación.
- Cable Firewire: Para conectar la cámara al computador y poder así descargar los videos.
- Final Cut Pro (o similar): Programa de la compañía Apple, especializado en edición de videos.
- Nero 7 Premium (o similar): Para grabar a DVD los videos anteriormente editados.





Adquirir este equipo implica una inversión relativamente alta, pero afortunadamente, la universidad cuenta con todos estos requerimientos y están disponibles para este proyecto.

El único inconveniente presentado con la disponibilidad de equipos se presentó al realizar el proceso de creación del video, ya que se obtuvo permiso para trabajar en la sala de la Facultad de Artes “El Bosque Virtual”, pero solo se consiguió disponibilidad para trabajar en esta dos tardes a la semana e incluso en este tiempo de disponibilidad, algunas veces la sala se encontró ocupada por monitorias imprevistas o sustentaciones de trabajos.

Esto, como ya se mencionó anteriormente, generó grandes atrasos en el cronograma inicial del proyecto y afectó a todas las actividades siguientes, ya que dependían directamente de la terminación de los videos editados.

El motivo por el cual se decidió trabajar en la sala “El Bosque Virtual” es por la capacidad de los equipos que allí se encuentran. Estos son computadores “iMac” (Ver Imagen 3) de “Apple” que cuentan con procesador, memoria Ram y tarjeta de video adecuados para el proceso que se debe realizar con los videos.



**Imagen 3: Der:** Cámara Sony ubicada en el edificio W - **Izq:** Computador iMac



## FILMACIÓN

La filmación se llevo a cabo desde comienzos de la segunda semana del mes de enero, hasta finales de la segunda semana de abril del presente año.

El cassette se cambió aproximadamente cada mes, cuando se lograban entre 20 y 30 minutos de video, para obtener videos no muy grandes para la edición.

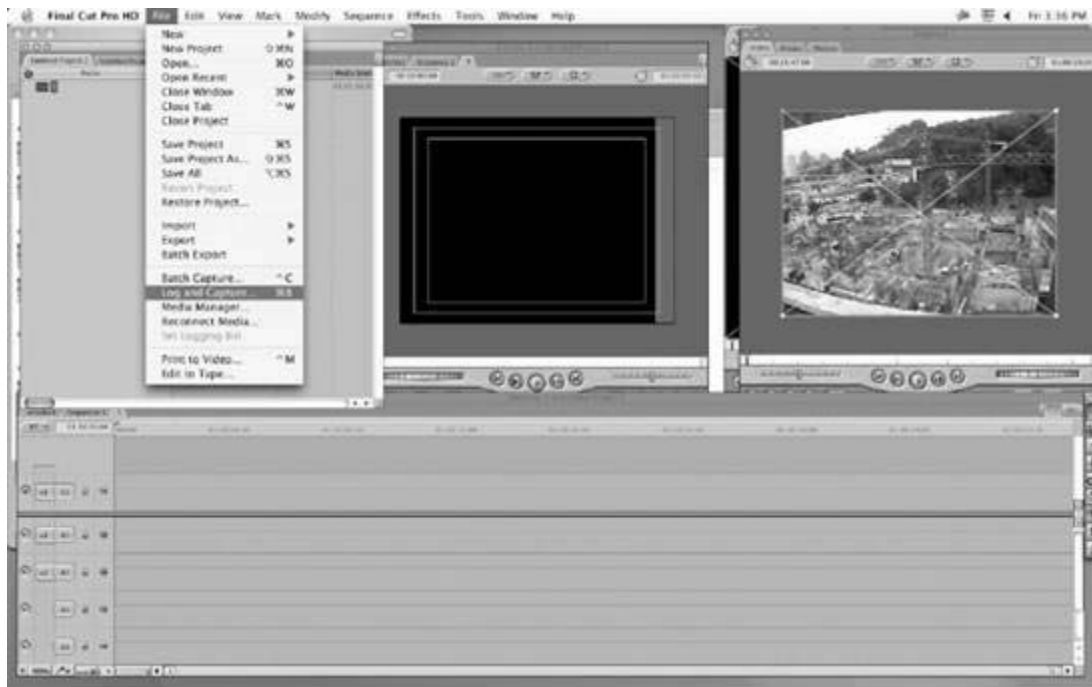


**Imagen 4:** Imagen del video tomado por la cámara

## DESCARGA Y EDICIÓN

Para la descarga y edición, se utilizó el programa “Final Cut Pro”, disponible en los equipos de la sala “El bosque virtual”

Para este proceso, se conecta la cámara al iMac, por medio de un cable “FireWire”, se ejecuta el programa y se procede a importar el video por medio de la opción “Log and Capture” del menú “File” (Ver Imagen 5)



**Imagen 5:** Screenshot de Final Cut Pro- Proceso de descarga

Al ejecutar esta opción, aparece un cuadro donde se ubica el video en el punto exacto donde se quiere empezar a grabar, y se selecciona la opción “Capture”. A continuación aparece un cuadro donde se observa el avance de la grabación, tal y como se ve el la “Imagen 6”

Esta es una opción de grabación en tiempo real, por lo cual tarda tanto, como tarde el video que se esta descargando. No depende de la velocidad de los equipos ni del cable que se utilice para conectarlos.



**Imagen 6:** Screenshot de Final Cut Pro- Descarga del video

Al terminar el proceso de descarga, se obtiene una secuencia de video, en una línea de tiempo (Time Line), donde se observan imágenes del video cada intervalo de tiempo, con el fin de lograr relacionar el avance de la obra con el tiempo del video. Esto es de gran utilidad para este caso, ya que nos ayuda a ubicar el límite entre el día y la noche en el video, y teniendo en cuenta que en la noche no hay actividad en la obra o no se percibe en el video por la falta de luz, este segmento debe ser suprimido para obtener una mejor visión del tiempo activo de la obra.

Para esto, se debe entonces, cortar el video en los limites del amanecer y anochecer, como se observa en la “Imagen 7”, borrando al final el segmento que muestra la noche.



**Imagen 7:** Screenshot de Final Cut Pro- Proceso de edición

Con el video editado, y las noches suprimidas, se procede a guardar la secuencia de video como archivo “.avi”, seleccionando la opción “Export” del menú “File”.

En el cuadro “Save”, obtenido al seleccionar la opción “Export”, seleccionamos la carpeta donde queremos que se guarde el archivo, se selecciona “DV NTSC 48 KHz” en la pestaña “Setting” y “Video Only” en la pestaña “Include”, ya que para este caso, no se necesita el audio (Ver Imagen 8).

Para proceder a grabar el video, se selecciona la opción “Save” y aparece un cuadro donde se observa el progreso del estado de la grabación (Ver Imagen 9)

Este proceso puede tardar al rededor de 20 minutos en un computador con buenas especificaciones para edición de video.

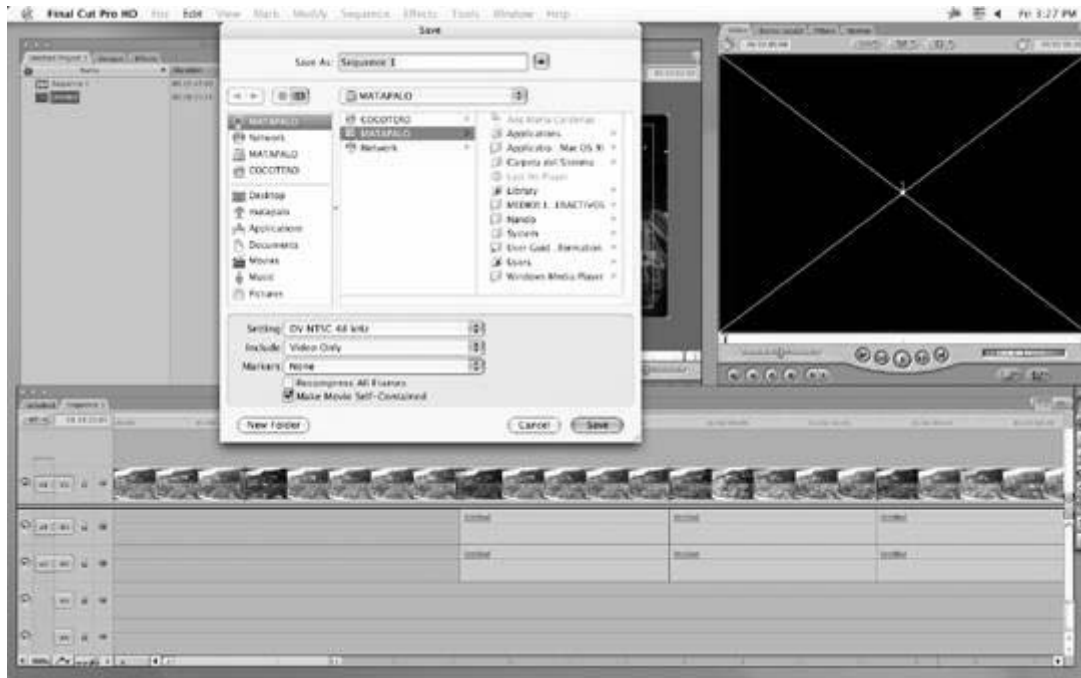
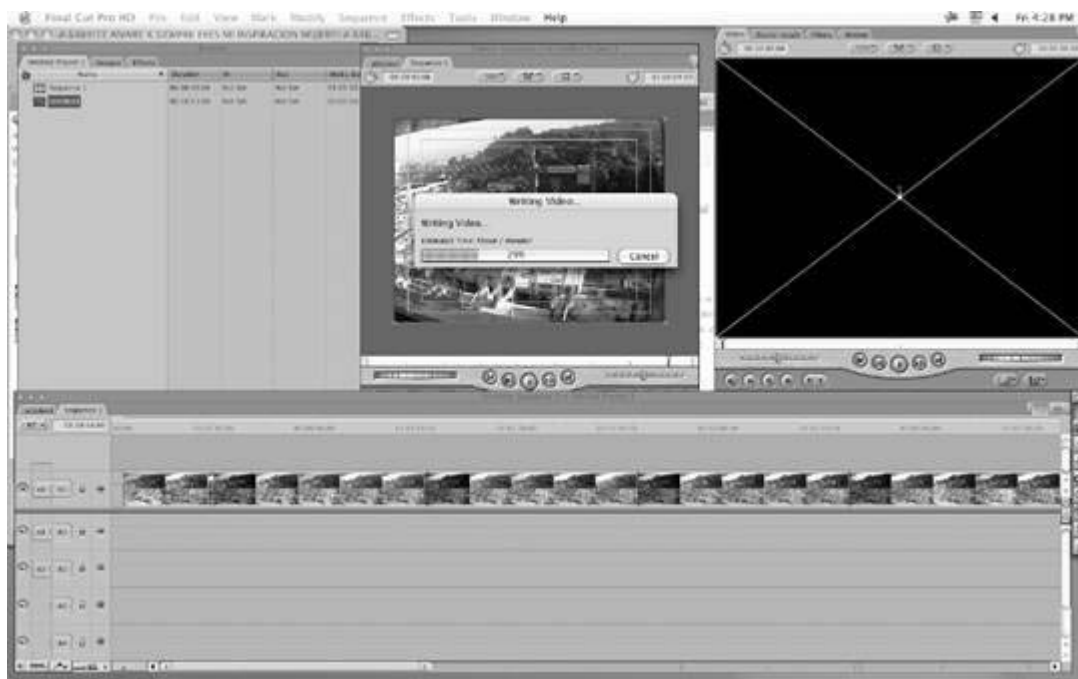



Imagen 8: Screenshot de Final Cut Pro- Proceso de conversión a archivo



	Propuesta de mejoramiento de la productividad en el edificio Mario Laserna, utilizando la técnica del Time-Lapse	ICIV 200610 13
---	--	----------------

**Imagen 9:** Screenshot de Final Cut Pro- Conversión a archivo de video

## **CREACIÓN DEL DVD**

Debido a la falta de disponibilidad de la sala “El Bosque Virtual”, se decidió realizar el proceso de creación del DVD en otro equipo, al cual se pudiera tener acceso en cualquier momento. Para esto, se realizó el proceso de descarga, edición y conversión al formato “.avi”, y los videos obtenidos fueron grabados en DVDs, como archivos, proceso que tarda al rededor de 20 minutos para cada DVD, mientras que si se realizara el proceso de conversión de archivo de video a película de DVD, esto tardaría en total entre 5 y 8 horas de trabajo.

Los archivos de video obtenidos, se copian a un computador con mayor disponibilidad, y con sistema operativo Windows, para mayor facilidad en el proceso, ya que es un sistema operativo más conocido y manejado por la mayoría de usuarios.

Para este proceso, se utiliza el programa Nero 7 Premium, el cual ofrece gran facilidad y opciones interesantes para la creación de DVDs (Ver Imagen 7). Así como este programa, existen muchos otros que cumplen con la misma función y su uso es a gusto personal.

El proceso es muy sencillo. Al ejecutar el programa, en el menú “Foto y Vídeo” se selecciona la opción “Crear DVD de vídeo propio”



Imagen 10: Nero 7 Premium

Al seleccionar esta opción, aparece un cuadro donde se ofrece la opción de obtener video de varias formas (Ver Imagen 11), en nuestro caso, el video se obtiene desde el archivo previamente obtenido.



Imagen 11: Creación de DVD de video en Nero 7 Premium





Este programa también ofrece opciones para diseñar la presentación del video, insertar títulos, cambiar la calidad, entre otras, pero para efectos prácticos de este proyecto, no se manejarán estos aspectos.

De este proceso, se pueden extraer satisfactoriamente los DVDs del avance de la obra durante el semestre, para su posterior observación y análisis



### **3. PROPUESTA DE MEJORAMIENTO**

#### **ALCANCE DE LA INVESTIGACIÓN**

La filmación comenzó junto con la iniciación de la construcción, por lo cual se cuenta con material que muestra las etapas desde el inicio de la excavación para la cimentación, hasta lo que se lleva a cabo el día de hoy. Con el fin de facilitar el análisis y no requerir de mucho tiempo de los interesados en participar, se decidió llevar a cabo solo el análisis del material obtenido desde comienzos de enero hasta finales de abril del presente año. Este grupo de videos, además de sumar poco más de una hora, contienen el registro de prácticamente una sola actividad, la construcción de la estructura, que es fácil de analizar por su tamaño y distribución en la obra, y es también una actividad que se repite piso a piso durante estos meses de filmación y los siguientes.

En los videos se observa claramente el armado del hierro y la fundición de vigas, columnas y losas de entrepiso. Se logra diferenciar los procesos principales requeridos para estas pequeñas actividades, lo que permite detectar deficiencias en los procesos.

En este periodo de la construcción se requiere principalmente de concreto y acero, en grandes cantidades, además de equipos, formaletas y mano de obra, entre otros. Debido a estos factores, la construcción de la estructura es una actividad fácil de analizar y de la que pueden surgir aportes interesantes.

Para realizar el análisis, es de gran ayuda tener nociones cuantificables del estado y las características principales del proyecto, como por ejemplo, el volumen diario de concreto o



cantidad de hierro que consume la obra diariamente, la cantidad de personal que maneja, el tiempo requerido para fundir una losa, entre otros.

En este caso, se realizará un estimativo aproximado del proceso de fundir losas y su duración, basándonos en un sector de la construcción observado en el archivo “Video Tesis HMRA (2)” del CD 1, anexo a este documento.

La decisión de tomar esta actividad en particular se debe a que es una de las más diferenciables en los videos, y el sector, señalado en la imagen 12, es uno de los pocos que no ha presentado un retraso significativo durante la construcción con lo cual se puede realizar un estimativo acertado y confiable.

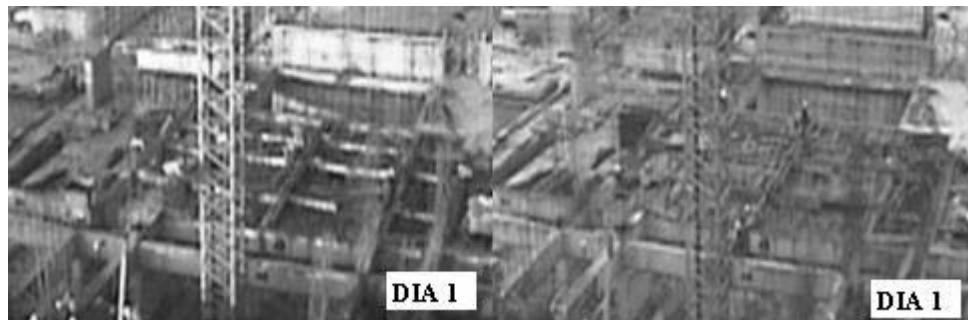


**Imagen 12:** Área seleccionada para cuantificar



**Imagen 13:** Ampliación al área seleccionada

El análisis se inicia cuando se observa el movimiento de personal y herramientas sobre las vigas y viguetas construidas previamente, con el fin de preparar el área para la ubicación de las formaletas. A este día se le llama “Día 1” y se aprecia en la imagen 14.



**Imagen 14:** Imágenes del “Día 1”

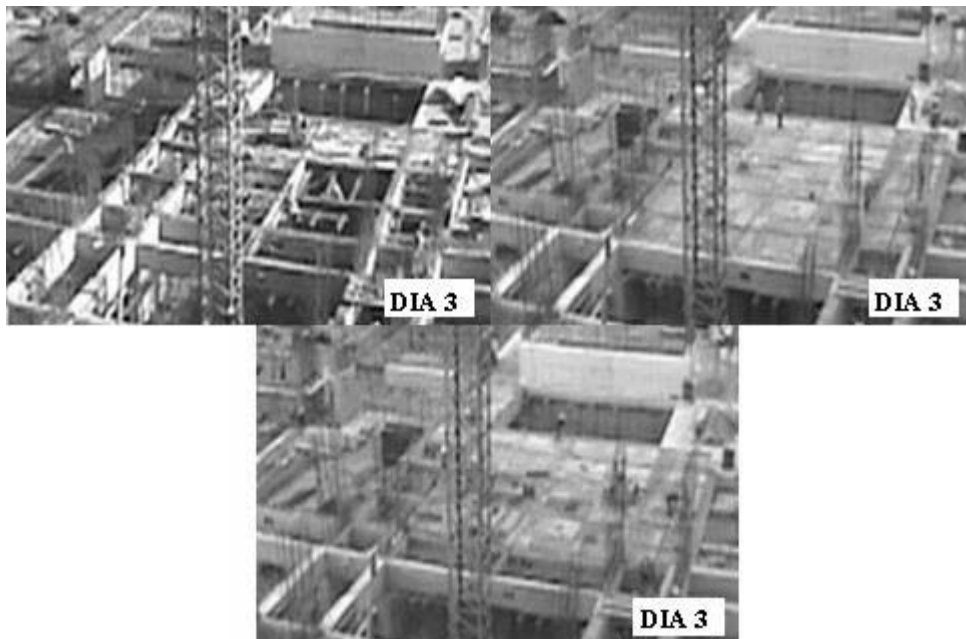


En el día 2, se observa aún al personal en obra, posiblemente ultimando detalles pendientes del día anterior, ya que se observa el mismo tipo de actividades, pero con menor personal y menor dedicación. Ver imagen 15.



**Imagen 15:** Imágenes del “Día 2”

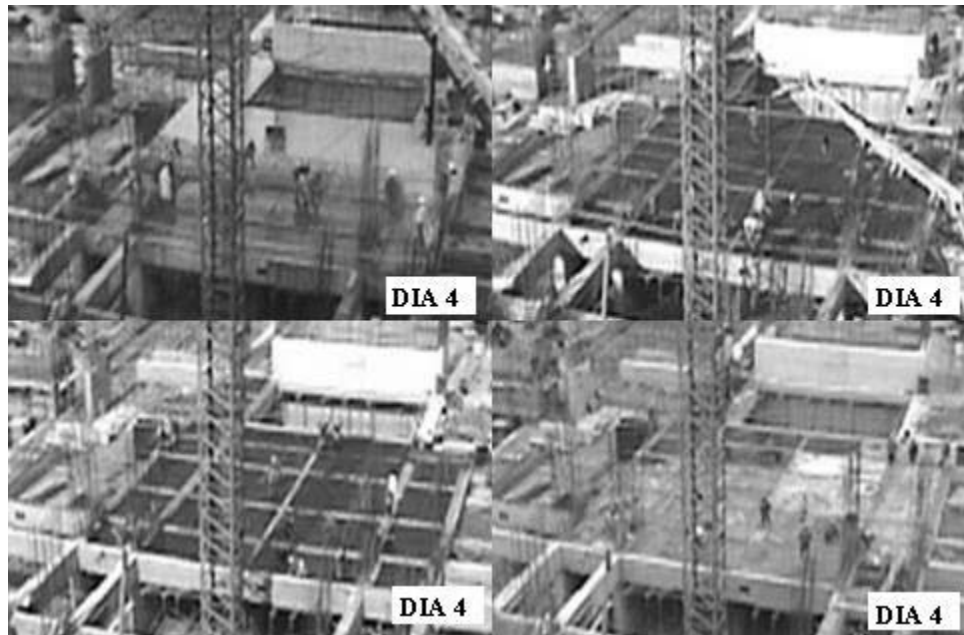
En el día 3, como se observa en la imagen 16, ubican finalmente las formaletas y se deja todo preparado para fundir la losa.



**Imagen 16:** Imágenes del “Día 3”



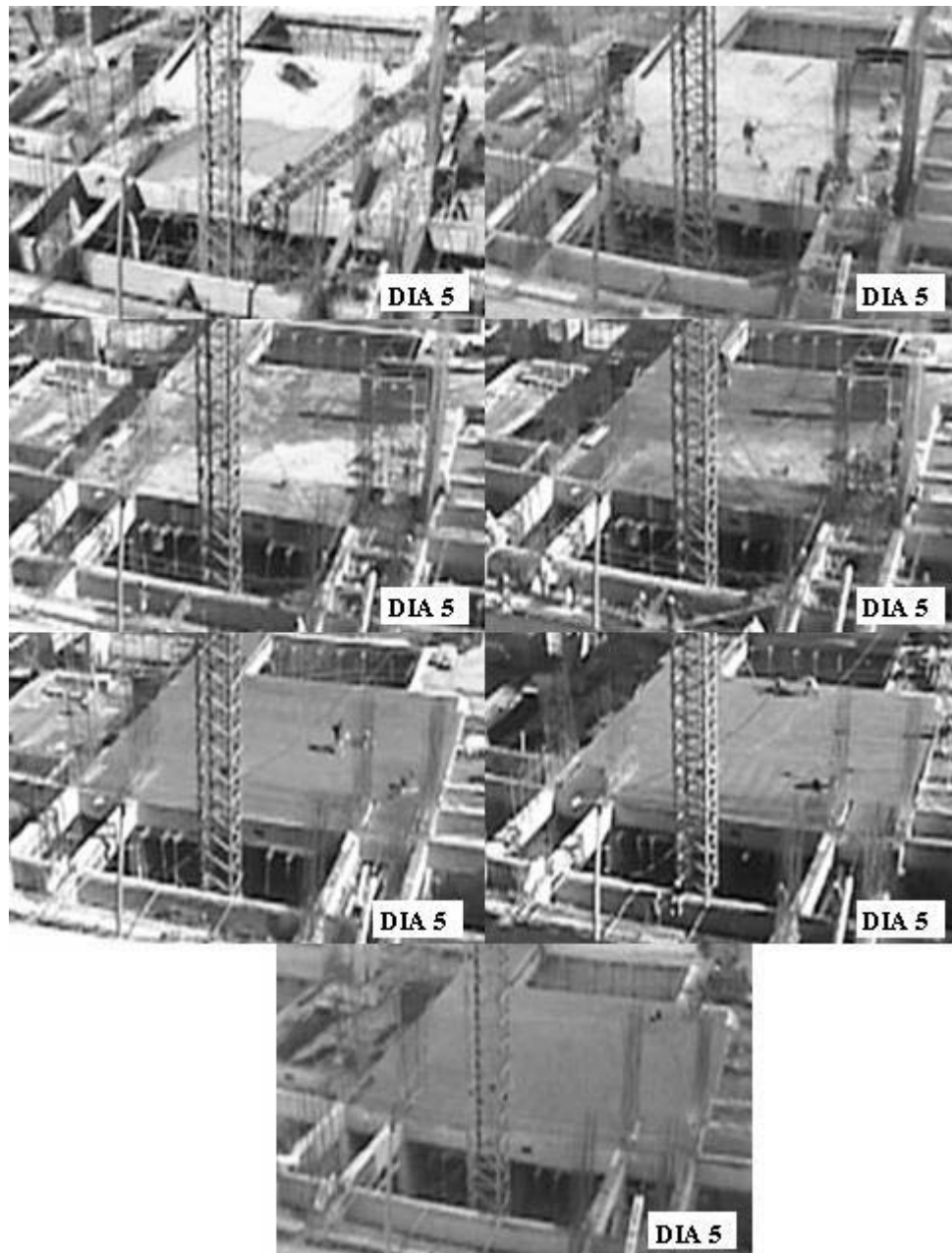
Durante el día 4, se bombea el concreto sobre las formaletas mientras el personal lo esparce y nivela la superficie. Ver imagen 17.



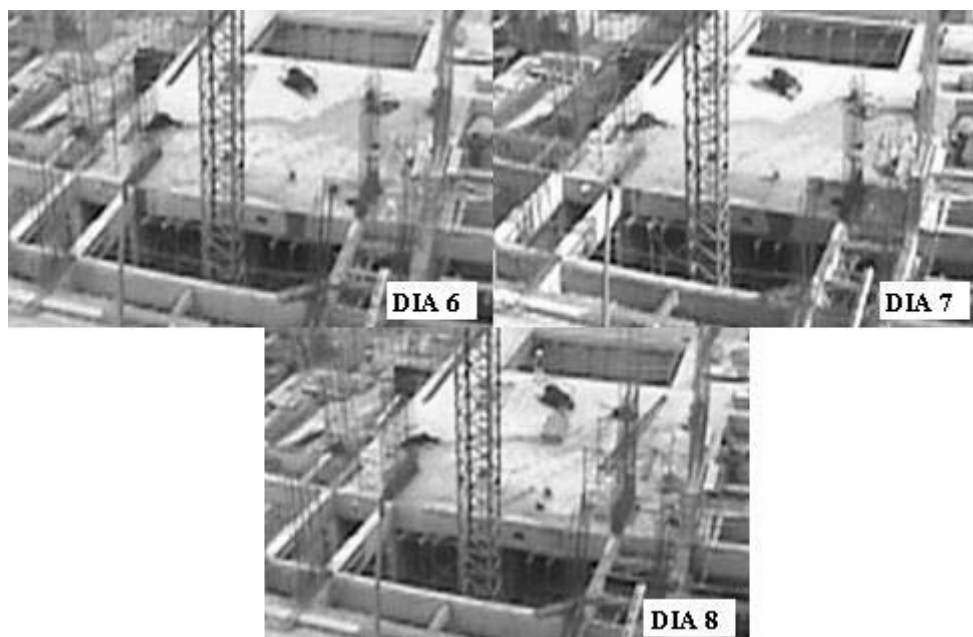
**Imagen 17:** Imágenes del “Día 4”

El quinto día de trabajo en el área seleccionada inicia con el proceso de pulir la superficie fundida, para luego ser cubierta por arena humedecida con el fin de evitar la pérdida de humedad del concreto que causa las grietas en la superficie durante el fraguado. Ver imagen 17.

Durante los días 6 y 7 solo se observa el humedecimiento de la arena y el día 8 se inicia con el proceso de fundir las columnas que se encuentran sobre la losa para iniciar con la construcción de un nuevo piso.



**Imagen 18:** Imágenes del “Día 5”



**Imagen 19:** Imágenes del “Día 1”

El proceso en total tarda aproximadamente 7 días para placas con características similares, si todo sale acorde a lo planeado y no se presentan inconvenientes relevantes.

Para obtener un rendimiento durante el tiempo, se realizó un estimativo de áreas, con la poca información conocida, ya que el acceso a los planos estructurales del edificio es de manejo interno únicamente. Según esta información, basado en proporciones de la imagen 12 y asumiendo que las dimensiones del proyecto son poco mas de 80 metros en sentido y alrededor de 70 en sentido vertical, se estima que la losa analizada tiene entre 450 y 500 m<sup>2</sup> de área.

De esto podemos concluir que la construcción de losas con áreas similares a la analizada, en esta obra puede tardar alrededor de 7 días, además, para las para losas con áreas mucho mayores o menores se puede suponer que no existe mayor variación en la duración, debido a que esta, mas que del área, depende de la serie de actividades menores y los tiempos de espera, que conforman el proceso.





## **PROPUESTAS**

Aunque la idea para el análisis de los videos obtenidos de la obra consistía en realizar una reunión donde varios interesados opinaran, discutieran y concluyeran sobre lo observado, por falta de disponibilidad y coordinación, como se mencionaba anteriormente, fue necesario que cada uno en su tiempo disponible observara el material obtenido y comentara sus observaciones posteriormente.

Los invitados a participar fueron Javier Prieto, como asesor de este proyecto de grado, Bernardo Caicedo, profesor asociado del departamento de ingeniería civil, Diego Echeverri, profesor asociado y experto en construcción, Germán Baquero, residente administrativo de la interventoría y un representante de la planta física de la universidad.

Desafortunadamente solo se contó con la colaboración de Javier Prieto y Germán Baquero, pero aportaron de manera significativa al proyecto.

## **REUNIÓN CON JAVIER PRIETO**

Al momento de la reunión con el asesor de este proyecto de grado y observar los videos, surgieron varios aspectos que generaron duda sobre su razón de ser en la obra, lo cual se propuso como tema de consulta al momento de la reunión con la empresa constructora o la interventoría, por su amplio conocimiento sobre los métodos constructivos y el estado de la obra.

El primer aspecto notado fue el hecho de que las primeras imágenes de la mañana muestran ausencia de trabajo, mientras que durante la noche se reponen estas horas perdidas.

El hecho de trabajar en horas de la noche dificulta e incrementa la duración las actividades por la ausencia de luz y la reducción en la temperatura, entre otros. La reducción de la



productividad de los trabajadores bajo estas condiciones se puede demostrar fácilmente, pero no es el objetivo de esta investigación.



**Imagen 20:** Construcción durante el día y la noche.

Se observa también que frecuentemente hay días en los que no se trabaja en la obra y como es bien sabido por los estudiantes de la universidad, la entrega del edificio se ha venido postergando debido a grandes atrasos principalmente en las etapas de excavación y cimentación, y no parece coherente que en estos días no se realice un esfuerzo por reducir el retraso ya generado.

Estos días, son principalmente domingos y festivos, además, de cuatro días donde se observa total inactividad, que deben corresponder a los días festivos de la semana santa.

Otro aspecto notado es la construcción de las losas y vigas de manera irregular en el proyecto. Como se observa en la imagen 21, la fundición de las losas no obedece a ningún patrón en particular, y se cree que esto puede generar pérdidas de tiempo en la movilización de las formaleas y todo el equipo necesario para la fundición de un lado a otro. Es posible que este hecho obedezca a motivos estructurales, como la distribución uniforme del peso sobre cada costado.



**Imagen 21:** Ubicación de las losas fundidas.

## **REUNIÓN CON GERMÁN BAQUERO**

Con el fin de establecer el contacto con la interventoría de la construcción del edificio, se invitó a participar a su residente administrativo, el ingeniero Germán Baquero, quien ofreció total colaboración y accedió a ver los videos y opinar sobre lo observado.

En la reunión con el ingeniero Germán, se discutió sobre los problemas y atrasos principales que había tenido la obra hasta ese momento y como se notaban estos inconvenientes en los videos presentados. También se comentaron los aspectos que surgieron de la reunión con el ingeniero Javier Prieto para conocer su verdadero motivo.

Los comentarios que surgieron al ver los videos fueron los siguientes:



El proceso de construcción de las vigas, consiste en fundir primero las vigas mas grandes y luego proceder con las mas pequeñas. Las vigas tienen una altura promedio de 1.5, 1.2, 0.7 y 0.5 metros. En el proceso, se funden primero las más grandes, que por lo general son las mostradas en el sentido vertical de la imagen 22. Esto muestra una falta de uniformidad en la obra, pero se debe a mejores rendimientos en el armado de las formaletas y del acero.



**Imagen 22:** Ubicación de las vigas principales

La esquina inferior derecha, señalada en la imagen 23, presentó un notable retraso ya que durante su construcción surgió una inconsistencia en los diseños, relacionada con la construcción de un puente que comunicaría al edificio nuevo con otro edificio dentro de la universidad, por lo cual se debió suspender ese sector hasta obtener los nuevos diseños.



**Imagen 23:** Ubicación de atrasos en la obra.

Otro aspecto claramente notable en el video es la diferencia entre el avance del costado derecho y el izquierdo. Aunque a simple vista parece que el atraso en todo costado izquierdo obedeciera a la misma causa, esto se debe a hechos distintos. La parte superior izquierda, señalada en la imagen 24, se retrasó debido a que se planeaba dejar un vacío en la parte superior del pasillo de acceso a la biblioteca, pero al iniciar la construcción se observó la falta de estética presentada al construir las vigas de los pasillos de evacuación en caso de emergencia del piso superior. Por esto los diseños debieron ser modificados.



**Imagen 24:** Ubicación de atrasos en la obra.

La construcción en la esquina inferior izquierda, señalada en la imagen 25, se retrasó ya que los diseños iniciales fueron modificados en varios aspectos. Aunque la modificación se realizó a tiempo, la curaduría urbana encargada la rechazó, por lo cual se debió rediseñar el acceso peatonal principal, eliminando espejos de agua y otros detalles. Esto ocasionó una parálisis casi total y por largo tiempo de la grúa ubicada en este sector, generando grandes pérdidas de dinero.



**Imagen 25:** Ubicación de atrasos en la obra.

Durante la construcción del nuevo edificio, la universidad decidió adquirir un piano que sería parte de dotación de éste, pero su tamaño imposibilitaba la entrada al aula donde se ubicaría. Ante esto, fue necesario rediseñar el acceso del aula, que limitaba con el auditorio principal, lo que requirió mover columnas, reubicar baños, modificar el acceso al auditorio, reubicar su lobby, entre otras actividades. Este retraso se observa en la imagen 26.



**Imagen 26:** Ubicación de atrasos en la obra.

Una vez terminados los comentarios por parte del ingeniero Germán Baquero, le fueron consultadas las dudas surgidas en la reunión con el ingeniero Javier Prieto, que nos aclaro de la siguiente manera:

Al comentar sobre el porque del desfase horario en la construcción, el ingeniero Baquero se mostró de acuerdo con la duda y respondió que éste era un tema que ya se había discutido con anterioridad, pero que al parecer esto era una vieja costumbre de la empresa constructora y no habían motivos concretos para exigir un cambio en sus horarios de trabajo. Este desfase horario puede causar los siguientes inconvenientes:

- El concreto necesita una alta temperatura para su fraguado ideal y disminución en el agrietamiento. La temperatura promedio del día no es lo suficientemente alta para ser la





ideal, y aún menos, la temperatura de la noche, por lo cual se aumenta el agrietamiento y las deficiencias en el fraguado.

- En esta construcción existe una restricción de ruido que inicia diariamente a las 7:00pm, por lo cual se tiene la limitación de trabajo pesado y ruidoso hasta esta hora. Por lo general las losas, vigas y columnas se funden hasta las 7:00 o 7:30pm y el proceso de limpieza suele terminar a las 8:30pm.
- El contratista de pisos inicia su trabajo después de la fundición de las losas y normalmente debe trabajar de 9:00pm a 3:00am y sin generar ruido.
- Iniciar a fundir a las 6:00am implica tener el primer turno de entrega del concreto, lo cual es muy valioso, ya que esta entrega es una de las mayores causas de retraso en obras. Con este turno se obtiene una especie de garantía de puntualidad, además, los vehículos con “Pico y Placa”, que tienen restricción de movilidad entre 6:00am y 9:00am, pueden estar antes de las 6:00am en la obra, descargar y esperar allí hasta que puedan salir nuevamente.

Sobre la falta de trabajo durante los días festivos, no es mucho lo que se pueda hacer, ya que el obrero difícilmente trabaja en estos horarios, y por mayor esfuerzo que se haga y se le reconozca una generosa remuneración por el tiempo extra, el personal que aceptaría difícilmente superaría el 50%, asegura Germán.

La distribución de las losas que se funden en la obra no obedece a ningún motivo estructural. Esto se debe básicamente a que la construcción de la estructura del edificio se lleva a cabo por medio de cuatro subcontratistas, cada uno encargado de aportar lo necesario para construir su sector asignado en la obra. De esta manera, el desarrollo de una actividad en un costado del edificio es independiente del desarrollo de una actividad similar en otro costado.



El objetivo real de esta división se desconoce, pero esta puede ser una causa importante de improductividad en la construcción, ya que ante los constantes atrasos de la obra, el personal y equipo del subcontratista afectado se paraliza, mientras los otros subcontratistas trabajan al límite o bajo escasez de recursos.


### **RECOMENDACIONES PARA FUTURAS INVESTIGACIONES**

Durante el desarrollo de este proyecto, surgieron ideas a las cuales desafortunadamente no se les pudo dar curso debido a las limitaciones propias de este, a la falta de tiempo o al surgimiento de estas cuando ya no se podían implementar.

Estas ideas pueden ser tenidas en cuenta en futuras investigaciones para obtener mejores resultados, facilidad en el análisis, mayor dominio de la técnica, menores imprevistos y generar mayor interés sobre la implementación de una nueva herramienta para el control de obras civiles.

#### **Identificar principales actividades en el video**

Con el fin de tener un mejor entendimiento del video al momento del análisis, se recomienda subtítular el video en el momento de la edición con la actividad o actividades principales que se llevan a cabo en el momento. Esto ubica al observador, enfoca el análisis y se identifica mejor el objetivo a analizar.

	Propuesta de mejoramiento de la productividad en el edificio Mario Laserna, utilizando la técnica del Time-Lapse	ICIV 200610 13
---	--	----------------

### **Identificar tiempos en el video**

Un error cometido en este proyecto fue no incluir las fechas y horas en los videos, lo cual es de suma relevancia para tener nociones de las duraciones y atrasos de cada una de las actividades y así poder comparar el resultado final con lo planteado inicialmente en el cronograma de la obra.

### **Permitir la reproducción del video a distintas velocidades.**


Como se mencionó anteriormente, una recomendación para el análisis consiste en ver el video inicialmente en velocidades mayores a la de reproducción normal, con el fin de captar la idea global este e ir reduciendo la velocidad progresivamente.

El medio más común de reproducción de estos videos es a través de un computador. El software que incluye Windows, el Reproductor de Windows Media, cuenta con una alternativa de reproducción rápida, pero es tan solo un poco más rápida que la reproducción normal.

Si se quiere apreciar el video en distintas velocidades es necesario disponer de un programa que permita diversas opciones de reproducción al momento del análisis.

Otra forma de permitir esto sin necesidad de obtener nuevos programas es aumentar la velocidad de los videos en el momento de la edición, creando así varios archivos que puedan ser seleccionados de acuerdo con lo que se quiera ver, facilitando además el proceso y estableciendo velocidades fijas para todos los observadores.

Otro medio para observar los videos son los reproductores de DVD, y con estos no se tendría problema alguno, ya la gran mayoría de estos cuenta con la opción de reproducción en distintas velocidades.

	Propuesta de mejoramiento de la productividad en el edificio Mario Laserna, utilizando la técnica del Time-Lapse	ICIV 200610 13
---	--	----------------

### **Identificar días festivos y fines de semanas**

En los videos no solo basta con identificar actividades, fechas y horas. También es adecuado contar con la información de los días de trabajo, sean días de semana, domingos o festivos, por su gran utilidad a la hora de determinar rendimientos del personal durante los horarios no laborales.

### **Comparar los resultados con los obtenidos con el mecanismo actual de control en la obra**

Los resultados arrojados por este proyecto, deben ser comparados con los que arroja el mecanismo de control de productividad que se lleva a cabo actualmente en la construcción, para identificar los detalles que capta un método y el otro omite, e implementar acciones que permitan arrojar mas resultados a esta herramienta, así como mostrar la ventaja que puede tener ante los métodos tradicionales.

### **Coordinar y comprometer a los interesados e involucrados**

La participación en esta investigación por parte de los interesados e involucrados en el proyecto fue lastimosamente muy reducida. Esto se debió básicamente a la falta de disponibilidad de estas personas y a la falta de interés por la investigación.

Para futuras investigaciones es necesario mejorar el acercamiento con estas personas, comprometiéndolos e interesándolos en el tema, para obtener buenos aportes, que son la fuente de los resultados que se pueden obtener y son los que definen el éxito de este proyecto de grado.



### **Realizar una entrevista previa al análisis**

Durante el análisis del material gráfico, las personas involucradas en la obra, de manera inconciente, solo buscan ver como se refleja en el video lo previamente conocido y comentan sobre eso.

Por esto, es necesario que antes mostrar los videos, sean consultadas todas las deficiencias que en el momento se conocen, para que así al momento del análisis surjan ideas realmente nuevas y que solo por medio de las imágenes puedan ser salir a flote.

### **Comprobar rendimientos y productividad en horas extras.**

En la bibliografía existe una amplia fuente de información sobre estudios de productividad en horas extra, durante la noche y en días festivos, de acuerdo con su cantidad y frecuencia. Una investigación más elaborada y enfocada a este aspecto debe incluir una cuantificación de la productividad y corroborar lo propuesto anteriormente con bases más sólidas.



## CONCLUSIONES

Implementar nuevas herramientas para el control y el aumento de la productividad en las obras civiles es la manera de evolucionar en la construcción, obteniendo mejores resultados, constructores con menos imprevistos y menores pérdidas de dinero, así como clientes más satisfechos con entregas a tiempo y de alta calidad.


El Time-Lapse puede ser muy útil en distintos niveles, todo depende de lo que se capture y a qué velocidad se hace, obteniendo resultados a nivel macro, como es el caso de este proyecto u obteniendo detalles menores de actividades de gran importancia y repetitivas en la construcción.

Es necesario generar métodos más efectivos, rápidos y asequibles de descarga, edición y creación de videos, para dedicarle así el mayor tiempo a la búsqueda de métodos de análisis y a la extracción de resultados y no a la obtención de videos.

Un registro histórico gráfico cuenta con una enorme ventaja sobre otro tipo de registro por su capacidad de entendimiento, facilidad de consulta y resultados claros y visibles. Este registro es otro de los aportes y por lo tanto otra de las ventajas del seguimiento de obras civiles por medio del Time-Lapse.

El video obtenido en el proceso debe ser una fuente de información de deficiencias y de propuestas para mejoras, más no una forma de corroborar y mostrar gráficamente los atrasos y problemas actuales ya conocidos por el personal involucrado.

El análisis a nivel macro de un proyecto de construcción por medio de la técnica del Time-Lapse, requiere principalmente del componente subjetivo de quien observa los resultados,

	Propuesta de mejoramiento de la productividad en el edificio Mario Laserna, utilizando la técnica del Time-Lapse	ICIV 200610 13
---	--	----------------

ya que si se obtienen videos con intervalos grandes, es difícil cuantificar los resultados y generar análisis formales de datos.

El Time-Lapse tiene su utilidad como herramienta para generar aumentos de productividad principalmente actividades repetitivas o de larga duración, ya que el proceso de filmación, creación del video y análisis, requiere de tiempo y además tiene como fin lograr implementar los resultados inmediatamente en la misma actividad o en una actividad similar.

El verdadero proyecto de implementación del Time-Lapse a la ingeniería civil consiste en una serie de investigaciones, cada vez mas especificas mas acertadas, como actualmente se viene realizando, y que debe ser continuada, perfeccionando la técnica, obteniendo mejores resultados y profundizando cada vez mas en el análisis.



## BIBLIOGRAFÍA

ESCOBAR RENJIFO, Pedro Antonio. Time Lapse: Herramienta para el seguimiento de proyectos de construcción vertical. Bogotá D.C., Mayo de 2005

PERDOMO LARA, Andrés Mauricio. Metodologías para el mejoramiento de la productividad de vivienda de interés social. Bogotá D.C., Agosto de 2003

ARANGO, Sebastián. Mejoramiento de la productividad en la construcción de edificaciones. Propuesta de proyecto de grado. Bogotá D.C., Abril de 2005

PABÓN GAMBOA, Mauricio. Documentación Time-Lapse y seguimiento en tiempo real de proyectos. Bogotá D.C., 2002

BERNAL NOREÑA, Sandra Constanza. Metodologías de diagnóstico de productividad en obras basadas en estudios de video (Time-Lapse). Bogotá D.C., Mayo de 1997

OGLESBY, Clarkson H, PARKER Henry W, HOWELL Gregory A, Productivity improvement in construction, McGraw-Hill Book Company. (1989)






FISCHER, Martin, KAM, Calvin. PM4D, Final Report. CIFE Technical Report Number 143. October 2002.

KINNS, John. BAPTIE, Jacobs. Time-lapse movie making, Production & application to civil engineering. (April 2005)

<http://notauniandina.edu.co/html/nota3/MarioLaserna.htm>. 27 de marzo de 2006. 12:40pm

<http://renovacioningenieria.uniandes.edu.co/cms/home/> 2006-05-02 10:37pm

<http://en.wikipedia.org/wiki/Time-lapse> 2006-05-21 5:24pm

	Propuesta de mejoramiento de la productividad en el edificio Mario Laserna, utilizando la técnica del Time-Lapse	ICIV 200610 13
---	--	----------------

## ANEXOS

Recopilación de videos obtenidos desde comienzos de enero de 2006 hasta finales de abril de 2006 en tres DVDs.