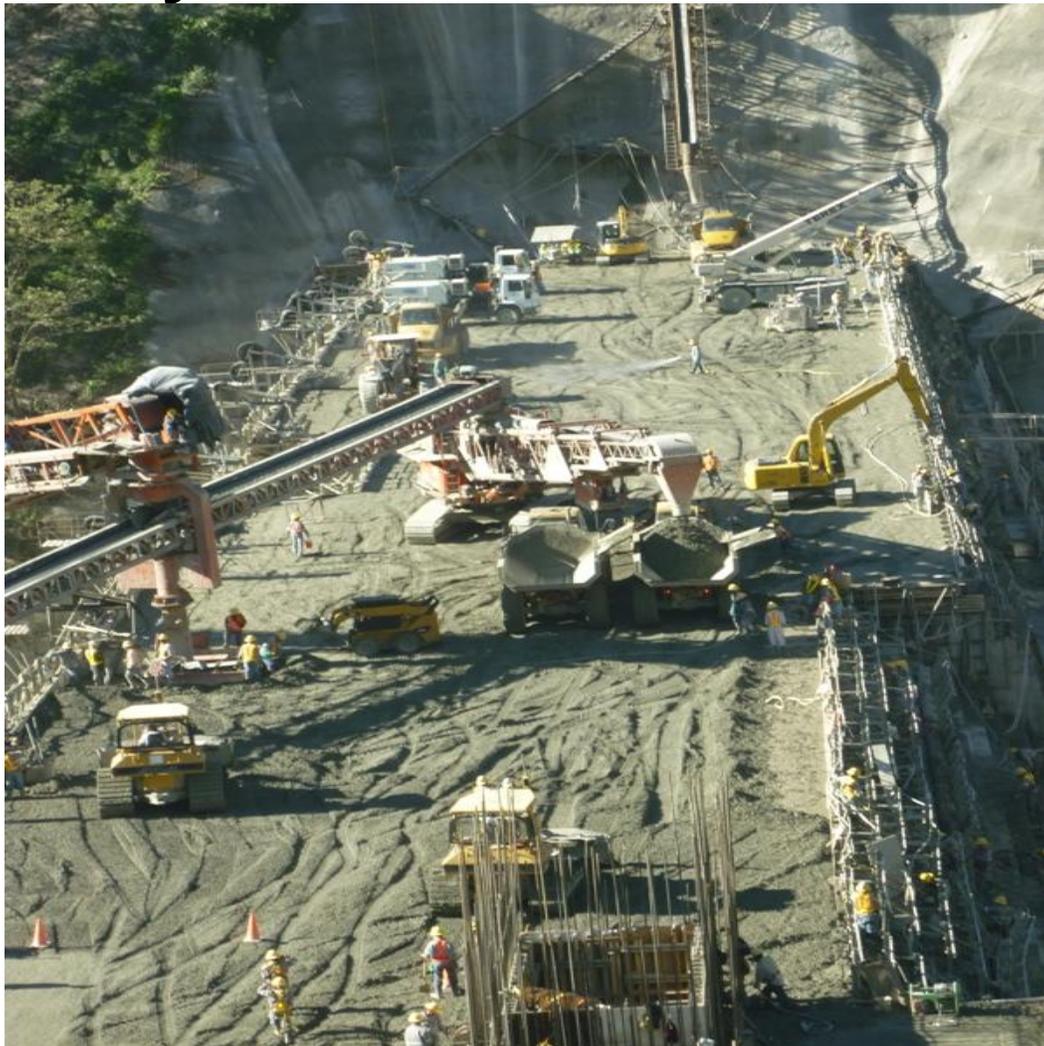


# Análisis de productividad y rendimientos de operaciones y procesos de obra gris de la presa del Proyecto Hidroeléctrico Pirrís



# Abstract

The report that follows is a proposal for improving the processes and operations related with the final concrete activities development in the dam of the Hydroelectric Project Pirris.

The specific objectives were: analyze the logistics of construction, define the main activities to analyze, conduct a study of downtime in these activities, develop resource balance charts, determine the productivity of selected process and make the proposed improvements.

In order to achieve them, a statistical processing was performed and analysis of information captured in the field for activities associated with conventional concrete and roller compacted concrete; through the sampling, production measurements were made and those were compared with the results of the statistical study.

Productivity was measured using the work sampling technique, five minute rating and crew balance. It was applied to the activities associated with roller compacted concrete. With this work, problems were found in deep cleaning, concrete placement and contraction joints. The company can use the recommendations showed in this document to improve the remaining processes of the final stage of the dam.

**Keywords:** crew balance, five minute rating, productivity, roller compacted concrete, work sampling.

# Resumen

El informe que se muestra a continuación, constituye una propuesta de mejoramiento de los procesos y operaciones de las actividades de obra gris en la etapa final de la presa del Proyecto Hidroeléctrico Pirris.

Los objetivos específicos planteados fueron: analizar la logística de construcción; definir las principales actividades por analizar; realizar un estudio de tiempos improductivos en estas actividades; elaborar cartillas de balance de recursos; determinar la productividad de los procesos seleccionados y realizar la propuesta de mejora.

Para lograrlos se realizaron el procesamiento estadístico y análisis de la información capturada en el campo, para actividades asociadas con concreto convencional y compactado con rodillo; además, mediante el muestreo, se hicieron mediciones de producción y se compararon estos resultados con los obtenidos a través del estudio estadístico.

La productividad fue medida según las técnicas de muestreo del trabajo, así como mediciones en intervalos de tiempo y balance de cuadrillas. Se aplicó a las actividades asociadas al concreto compactado con rodillo. Con este trabajo, se detectaron problemas en limpieza profunda, colocación de concreto e inducción de juntas de contracción. Producto del análisis de esta información, se formularon algunas recomendaciones que el I.C.E. puede emplear para mejorar los procesos restantes de la etapa final de la presa.

**Palabras Clave:** concreto compactado con rodillo, balance de cuadrillas, medición en intervalos de tiempo, muestreo del trabajo, productividad.

# **Análisis de productividad y rendimientos de operaciones y procesos de obra gris de la presa del Proyecto Hidroeléctrico Pirrís**

KATHERINE NAVARRO BRENES

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

Julio del 2010

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA  
ESCUELA DE INGENIERÍA EN CONSTRUCCIÓN



# Contenido

<b>PREFACIO</b> .....	1		
<b>RESUMEN EJECUTIVO</b> .....	2		
<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	3		
<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	3		
<b>MARCO TEÓRICO</b> .....	4		
GENERALIDADES .....	4		
CONCRETO CONVENCIONAL .....	5		
<i>Materiales</i> .....	5		
<i>Diseño de mezclas</i> .....	7		
CONCRETO COMPACTADO CON RODILLO ..	9		
<i>Generalidades</i> .....	9		
<i>Ventajas del RCC</i> .....	9		
<i>Desventajas</i> .....	10		
<i>Especificaciones</i> .....	10		
PRESA DE RCC .....	13		
<i>Preparación</i> .....	14		
<i>Colocación</i> .....	16		
<i>Compactación</i> .....	18		
<i>Juntas de contracción</i> .....	19		
<i>RCC enriquecido con lechada</i> .....	20		
<i>Formaletas de los paramentos</i> .....	20		
CONCEPTOS DE ESTADÍSTICA .....	21		
ESTUDIO DEL TRABAJO .....	21		
<i>Definiciones</i> .....	22		
TÉCNICAS DE MEDICIÓN DE LA			
PRODUCTIVIDAD .....	22		
<i>“Work Sampling”</i> .....	22		
<i>“Five Minute Rating”</i> .....	23		
<i>“Crew Balance”</i> .....	23		
IMPRODUCTIVIDAD .....	24		
<i>Problemas que afectan la</i>			
<i>productividad de mano de obra</i> .....	24		
<i>Problemas que afectan la</i>			
<i>productividad de los recursos</i> .....	25		
TIEMPOS IMPRODUCTIVOS .....	25		
<b>METODOLOGÍA</b> .....	28		
<b>RESULTADOS</b> .....	31		
CONCRETO CONVENCIONAL.....	31		
<b>CUADRO 14. RESUMEN DE</b>			
<b>RENDIMIENTOS EN CONCRETO</b>			
<b>CONVENCIONAL</b> .....	40		
CONCRETO COMPACTADO CON RODILLO	40		
INDICADORES DE PRESA .....	65		
CONCRETO COMPACTADO CON RODILLO:			
MUESTREO .....	72		
MEDICIÓN DE PRODUCTIVIDAD .....	82		
<b>ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS ....</b>	<b>87</b>		
CONCRETO CONVENCIONAL.....	87		
CONCRETO COMPACTADO CON RODILLO	87		
INDICADORES DE PRESA.....	88		
CONCRETO COMPACTADO CON RODILLO:			
MUESTREO.....	89		
MEDICIÓN DE PRODUCTIVIDAD .....	90		
<b>CONCLUSIONES</b> .....	<b>93</b>		
<b>RECOMENDACIONES</b> .....	<b>95</b>		
<b>APÉNDICE</b> .....	<b>96</b>		
APÉNDICE A.....	96		
<i>Hojas de alcance de las técnicas de</i>			
<i>medición de productividad</i> .....	96		
<b>REFERENCIAS</b> .....	<b>97</b>		



# Prefacio

El trabajo que fue desarrollado durante la práctica profesional dirigida, ha permitido contribuir con la oficina de Planeamiento y Control en el análisis de la información obtenida en el sitio de construcción, para las actividades de presa asociadas al concreto compactado con rodillo.

Con este proyecto se ha logrado realizar un estudio de rendimientos y productividad paralelo a la ejecución de las obras de presa, pues generalmente, este trabajo se realiza una vez que los procesos han sido ejecutados, impidiendo la posibilidad de introducir mejoras, que contribuyan con la optimización de los recursos y de las actividades. Además, se pretende que la información que ha sido procesada y analizada contribuya con la planificación de futuros proyectos similares, que desarrolle el Instituto Costarricense de Electricidad.

El objetivo principal formulado para la ejecución de este trabajo de grado, fue realizar una propuesta de mejoramiento de los procesos y operaciones de las actividades de obra gris, en la etapa final de la presa del Proyecto Hidroeléctrico Pirrís

Se extiende el agradecimiento a la oficina de Planeamiento y Control, en especial a los ingenieros Wagner Flores y Olman Vargas; por la oportunidad y la ayuda brindadas para la realización de este proyecto. A los profesores de la carrera de Ingeniería en Construcción del Instituto Tecnológico de Costa Rica. Principalmente, a la profesora Ing. Ana Grettel Leandro, por el apoyo brindado durante la ejecución de este trabajo y en el desarrollo de la carrera; además, por sus consejos de vida. A mis padres, hermano y abuela (q.d.D.g.), por su sacrificio, oraciones y apoyo de siempre.

# Resumen ejecutivo

El proyecto desarrollado buscó la realización de una propuesta de mejoramiento de los procesos y operaciones de las actividades de obra gris en la etapa final de la presa del Proyecto Hidroeléctrico Pirrís, desarrollado por el Instituto Costarricense de Electricidad (I.C.E).

Para lograr el objetivo principal se ejecutó una serie de actividades, como el procesamiento estadístico y análisis de la información capturada en el campo, por los inspectores de la Oficina de Planeamiento y Control. Esta información es incluida en los formularios correspondientes a las actividades de presa, que involucran el uso de concreto convencional y concreto compactado con rodillo o RCC (siglas en inglés derivadas del término Roller Compacted Concrete).

Los resultados referentes al RCC fueron confrontados con los obtenidos al realizar mediciones de producción aleatorias. Debido a la semejanza encontrada en algunos procesos, al realizar esta comparación, se deduce que la técnica del muestreo del trabajo es una herramienta viable y agiliza el proceso de análisis y toma de decisiones para el mejoramiento en la ejecución de procesos y operaciones.

El estudio estadístico y la información capturada en el campo con el muestreo, contribuye con la oficina de Planeamiento y Control en el análisis de los procesos y en la elaboración de un registro que les permita a los profesionales planificar futuros proyectos que realice el I.C.E.

Como innovación, se ejecuta la medición en campo de la productividad de los procesos y operaciones relacionadas con el RCC. Para ello se aplicaron tres técnicas de medición: Work Sampling, Five Minute Rating y Crew Balance.

Las tres técnicas se ejecutan mediante la identificación de las diferentes cuadrillas de trabajo y la observación en el tiempo de las diferentes acciones que realicen los trabajadores.

Son técnicas subjetivas, debido a que los resultados que se obtienen dependen de la apreciación de la persona que ejecuta las mediciones. Sin embargo, generan información que puede ser analizada y contribuir con la toma de decisiones para el mejoramiento de los procesos estudiados.

El Work Sampling o muestreo del trabajo realiza observaciones de la cantidad de personas que trabaja y la que no. Para tener una confiabilidad del 95% deben hacerse un mínimo de 385 observaciones. La técnica de Medición en Intervalos de Tiempo (Five Minute Rating), observa a cada trabajador en el tiempo. Mientras que el Balance de Cuadrillas (Crew Balance), describe el trabajo observado a través de un gráfico de barras.

Al analizar los resultados obtenidos en este proyecto, se tiene que la extensión de los formularios de captura complica la labor del análisis de las obras paralelo a su ejecución. Si se quiere obtener información que contribuya con este trabajo, en un tiempo menor, se puede aplicar la técnica del muestreo.

Producto de las observaciones de campo para medir la productividad, se encontraron problemas en los procesos de limpieza profunda, colocación de RCC e inducción de juntas de contracción. Se observó que los principales factores que afectan la productividad de estos procesos son: atrasos y desplazamiento de la mano de obra dentro del sitio de colocación por falta de agua; inadecuada coordinación entre cuadrillas; averías en maquinaria; inadecuado control de la cantidad de equipo necesario para ejecutar los trabajos.

Además, se determinó la importancia de brindar capacitación a los inspectores de campo, pues, algunos desconocían detalles de la información con la que trabajan diariamente y que la Empresa necesita para controlar la obra.

# Introducción

Uno de los sectores que más impacto genera en un país, tanto en el desarrollo como en la economía, es el de la construcción. A pesar de esta influencia, la mayoría de las empresas no efectúa un análisis de la forma y calidad con que ejecutaron sus proyectos; tampoco cuentan con un registro detallado de sus obras, que incluya rendimientos, datos de productividad o algunas anotaciones acerca de la logística utilizada. Si se realizaran estos estudios, se obtendrían mejores productos, pues por medio del análisis de la información recopilada en el pasado, se optimizarían los recursos empleados y no se cometerían los mismos desaciertos.

El trabajo producto de la práctica profesional, como se explicará en los párrafos siguientes, contribuirá con el Instituto Costarricense de Electricidad en los aspectos mencionados anteriormente.

Para el desarrollo de este proyecto, se planteó como objetivo principal el siguiente: Realizar una propuesta de mejoramiento de los procesos y operaciones de las actividades de obra gris en la etapa final de la presa del Proyecto Hidroeléctrico Pirrís. Para lograrlo se formularon los objetivos específicos que se describen a continuación:

- a) Analizar la logística de construcción de la presa del Proyecto Hidroeléctrico Pirrís.
- b) Definir las principales actividades por analizar.
- c) Realizar un estudio de tiempos improductivos en las actividades por analizar.
- d) Elaborar cartillas de balance de recursos, mediante el procesamiento estadístico de la información recopilada del muestreo en campo de las actividades que se están ejecutando.
- e) Determinar la productividad de los procesos seleccionados.
- f) Realizar la propuesta de mejora e implementar cambios.

Con el fin de alcanzar estos objetivos, el proyecto se dividió en dos partes; la primera consistió en el procesamiento estadístico y análisis de la información de campo, para

determinar rendimientos y valores de producción.

Es importante agregar que los datos de campo de la primera etapa son recopilados a través de formularios por inspectores de la oficina de Planeamiento y Control.

La segunda etapa se enfocó en la aplicación de técnicas de medición de productividad, un estudio distinto al que realiza el Departamento para el control de la producción; con el propósito de analizar la ejecución de los procesos y establecer conclusiones, a partir del trabajo de campo efectuado. Finalmente, se hizo una comparación de los resultados obtenidos en ambas etapas.

Al confrontar los datos alcanzados, se puede lograr un análisis más completo; puesto que, la información cualitativa recopilada en la segunda etapa permite justificar los resultados de la primera.

De esta forma se ha contribuido con la oficina de Planeamiento y Control en el trabajo de evaluar los procesos de forma paralela a su ejecución. Además, ayudará en la elaboración de un registro de datos, el cual contribuirá con la planificación de futuros proyectos; pues, en la Empresa la información de este tipo es escasa. A la vez, la oficina tendría la posibilidad de utilizar algunas de las recomendaciones que se presentan en este informe, para que sean implementadas en los procesos finales de las actividades de presa, seleccionadas para este estudio.

La base teórica de este proyecto, se fundamenta en conceptos básicos de estadística. Además, en tres técnicas de medición de productividad: El Muestreo de Campo (Work Sampling), que aplica observaciones de la cantidad de personas que trabaja y la cantidad que no; la técnica de Medición en Intervalos de Tiempo (Five Minute Rating), que observa a cada trabajador y el Balance de Cuadrillas (Crew Balance), el cual describe el trabajo observado a través de un gráfico de barras.

# Marco teórico

## Generalidades

El Proyecto Hidroeléctrico Pirrís es una obra desarrollada por el Instituto Costarricense de Electricidad; su financiamiento proviene de dos fuentes: el Banco Centroamericano de Integración Económica y el banco japonés JBIC.

“Se localiza en la vertiente del Pacífico Central de Costa Rica, aproximadamente 30 km al sur de la ciudad capital de San José.”<sup>1</sup> El proyecto abarca los cantones de Dota, León Cortes, Tarrazú, Aserri y Parrita (ver figura 1). Inició la etapa de construcción en el 2000.

Su propósito es la generación de alrededor de 128 MW de energía; por ello “aprovechará las aguas del río Pirrís a la elevación 1100 metros sobre el nivel de mar, en un punto localizado aproximadamente 30 km aguas arriba de la confluencia con el río Candelaria. En este sitio, el área de la cuenca es de 250 km<sup>2</sup> y el caudal de descarga promedio del río es de 9,84 m<sup>3</sup>/s, lo cual representa un volumen promedio anual de 310 x 10<sup>6</sup> m<sup>3</sup>.”<sup>2</sup>

El proyecto se subdivide en diversas actividades; por lo cual, se procede a realizar una descripción general de estas. La obra, además de los estudios y obras preliminares, se inicia con la construcción de una presa con el fin regular el flujo de agua; ésta combina dos tipos de concretos, el concreto compactado con rodillo y los concretos convencionales. Se proyecta que cuente con una “altura de 113, una longitud de cresta de 266 m y un volumen de concreto de 750 000 m<sup>3</sup>. Posteriormente, se crea un embalse con un volumen efectivo es de 30x10<sup>6</sup> m<sup>3</sup>.”<sup>3</sup>

Como obras complementarias a ello, se tiene un vertedor, el cual se ubica directamente sobre ésta. “Posee una elevación de cresta de 1195 metros sobre el nivel del mar (m.s.n.m.). Estará regulado por compuertas radiales. Su capacidad será de 2 350 m<sup>3</sup>/s, correspondiente a una creciente de 5 000 años de período de retorno.”<sup>4</sup>

“La toma está diseñada para derivar un caudal de 18,0 m<sup>3</sup>/s. El agua de captación se transportará hacia la margen izquierda donde se ubica el portal del túnel de conducción. Las obras de conducción están compuestas por un túnel de 10,5 km de largo y una tubería forzada de 830 m de longitud. El diámetro interno del túnel oscila entre 3,2 m y 2,3 m. Los diámetros de la tubería de presión varían entre 2,2 m y 2,0 m.”<sup>5</sup>

“La casa de máquinas se localizará en la margen izquierda del Río Pirrís, a la elevación 325 m.s.n.m. y tendrá dos turbinas Pelton. Cabe agregar que para la restitución se empleará una alcantarilla de concreto de 247 m de largo, con una sección de 3,3 m x 3,3 m.

Para transportar la energía del Proyecto Hidroeléctrico Pirrís se construirá una subestación con un área de una hectárea y una línea de la transmisión de 230 kV de Voltaje y con una longitud 44 km.”<sup>6</sup>

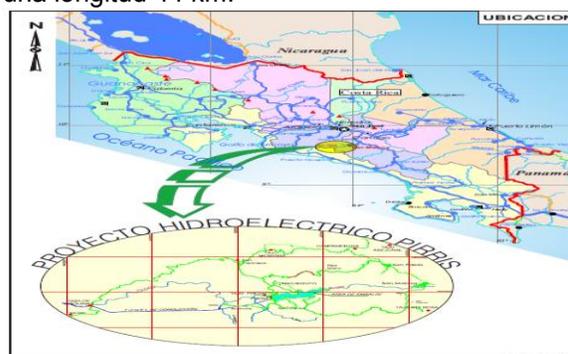


Figura 1. Ubicación del Proyecto Hidroeléctrico Pirrís. Fuente: Bonilla, 2009

<sup>1</sup> Instituto Costarricense de Electricidad, 2005.

<sup>2</sup> Ídem

<sup>3</sup> Ídem

<sup>4</sup> Ídem

<sup>5</sup> Ídem

<sup>6</sup> Ídem

## Concreto convencional

En este apartado se presenta un extracto de los lineamientos sobre este tipo de concreto presentes en la sección 4 del documento de especificaciones para Construcción de Obras de Sitio de Presa del Proyecto Hidroeléctrico Pirrís, que pertenece al cartel de Licitación Pública N° 7225-E. Dicha información permitirá conocer acerca de las consideraciones que al respecto de los concretos convencionales se toman en este proyecto.

## Materiales

Se describen a continuación, las características que deben cumplir los concretos convencionales por emplear en la construcción de la presa del proyecto hidroeléctrico.

## Cemento

Para todas las construcciones donde se requiera el uso de concreto convencional debe emplearse cemento Portland tipo I; sobre el almacenamiento se establece que puede ser de dos formas, mediante sacos o a granel. Con respecto del primero, se tiene que se colocará sobre tarimas en grupos de diez sacos hasta un máximo de doce; esto evitará que el material absorba humedad al contar con una ventilación adecuada. Si se almacenan por un periodo mayor a cuarenta y cinco días después que fue fabricado, deberá pasar por un proceso de verificación antes de ser utilizado.<sup>7</sup>

Si se almacena a granel “los silos de almacenamiento de cemento deberán ser herméticos y a prueba de agua. Las paredes de la parte inferior deberán tener un ángulo mínimo de 50° con respecto a la horizontal para silos circulares y no menor de 55° para silos rectangulares, con el fin de lograr una buena salida del cemento. Si se almacenan por un periodo mayor a sesenta días después de su fabricación, tiene que ser revisado previamente a su utilización.”<sup>8</sup>

<sup>7</sup> Ídem

<sup>8</sup> Ídem

Habrán de realizarse ensayos de laboratorio de acuerdo con lo especificado en las normas ASTM C109 y ASTM C191; lo anterior con el fin de establecer si los especímenes analizados cumplen con los estándares de resistencia a compresión y tiempos de fraguado definidos por las normas anteriores.<sup>9</sup>

## Agregados

Luego que el material sea procesado (ver figuras 2 y 3) y transportado al sitio de trabajo, debe almacenarse de acuerdo con el tamaño (ver figuras 4 y 5); en un terreno cuya pendiente impida el estancamiento del agua, la cual se emplea para proporcionar al agregado el contenido de humedad adecuada requerido para ser empleado en las mezclas de concreto.<sup>10</sup>



Figura 2. Quebrador secundario. Fotografía tomada el 21 de enero del 2010 en el sitio de Presa del Proyecto Hidroeléctrico Pirrís. Fuente: elaboración propia



Figura 3. Quebrador utilizado para producir arena. Fotografía tomada el 21 de enero del 2010 en el sitio de Presa del Proyecto Hidroeléctrico Pirrís. Fuente: elaboración propia

<sup>9</sup> Ídem

<sup>10</sup> Ídem



Figura 4. Almacenamiento de agregado fino. Fotografía tomada el 21 de enero del 2010 en el sitio de Presa del Proyecto Hidroeléctrico Pirris. Fuente: elaboración propia



Figura 5. Almacenamiento de agregado grueso. Fotografía tomada el 21 de enero del 2010 en el sitio de Presa del Proyecto Hidroeléctrico Pirris. Fuente: elaboración propia

### CUADRO 1. ESPECIFICACIONES DE AGREGADOS

criterio	Descripción
<b>Agregado Fino</b>	
Granulometría	Cumplir con la norma ASTM C33
Módulo de Finura	Entre 2,20 y 3,15
Abrasión	No debe ser mayor a 25% al evaluarse de acuerdo con el método ASTM C 131.
Sanidad	Menor 10% si se usa sulfato de sodio y 15% si se usa sulfato de magnesio(ASTM C88)
Tamaño máximo de material pasando malla 200	Se permite un máximo de 7% (ASTM C117). Deberá consistir de material producto de trituración, libre de limos, arcillas e impurezas orgánicas (ASTM C40). Los materiales menores a esta malla deberán ser no plásticos (ASTM D 4318).
<b>Agregado Grueso</b>	
Tamaño máximo	Menor a 63 mm.
Granulometría	Cumplir con la norma ASTM C33.
Abrasión	Menor a 25%(ASTM C 131)
Sanidad	Menor 12% si se usa sulfato de sodio y 18% si se emplea sulfato de magnesio(ASTM C88)
Tamaño máximo de material pasando malla 200	Se permite un 1% (ASTM C 117). Podrá incrementar a 1,5 % si el material está libre de limos, arcillas e impurezas orgánicas (ASTM C 40). Los materiales menores a esta malla deberán ser no plásticos (ASTM D 4318).
Otros	No se permite más de 25 % por peso de partículas planas y elongadas (ASTM D 4791) y considerando que: Una partícula elongada es aquella en la cual la relación entre la longitud y el ancho es mayor que 3. Una partícula plana tiene una relación entre el ancho y el espesor es mayor que 3.

**Fuente: Construcción de Obras de Sitio de Presa del Proyecto Hidroeléctrico Pirris. ICE, 2005**

## Aditivos

“Deben cumplir los requisitos de la norma ASTM C 494 “Aditivos Químicos para Concreto”. No podrán contener cloruro de calcio. Deberán aumentar el revenimiento de un rango de 8 cm a 10 cm hasta un rango de 18 cm a 20 cm y el revenimiento incrementado deberá mantenerlo por lo menos durante una hora por encima del revenimiento requerido de la mezcla.”<sup>11</sup>

## Agua

“Deberá ser clara y libre de sustancias perjudiciales tales como: grasas, ácidos, sulfatos, álcalis, sales, cantidades dañinas de limo, azúcares, materias orgánicas o cualquier otra impureza. En caso de que contenga sustancias que provoquen olor o sabor inusual, turbiedad o coloración, se le deberán realizar ensayos, según lo especificado en la Norma ASTM C 94.”<sup>12</sup>

## Diseño de mezclas

CUADRO 2. REQUERIMIENTOS MÍNIMOS DEL DISEÑO DE LA MEZCLA DE CONCRETO		
Tipo de diseño de mezcla	Resistencia mínima (kg/cm <sup>2</sup> )	Tamaño máximo de agregado (mm)
A-1	120	63
B-1	140	50
C-1	180	50
D-1	210	50
D-2	210	25
E-1	280	50
E-2	280	25
F-1	350	50
F-2	350	25
G-1	350(**)	50
G-2	350(**)	25

Fuente: Construcción de Obras de Sitio de Presa del Proyecto Hidroeléctrico Pirrís. ICE, 2005

<sup>11</sup> Ídem

<sup>12</sup> Ídem

CUADRO 2 (Cont.). REQUERIMIENTOS MÍNIMOS DEL DISEÑO DE LA MEZCLA DE CONCRETO			
Tipo de diseño de mezcla	Máxima relación A/C	(*)Rango de Revenimiento (cm)	Mínimo contenido de cemento (kg/m <sup>3</sup> )
A-1	0,80	2 a 8	180
B-1	0,77	2 a 8	200
C-1	0,69	2 a 8	220
D-1	0,63	2 a 10	260
D-2	0,63	2 a 10	290
E-1	0,51	2 a 10	300
E-2	0,51	2 a 10	350
F-1	0,45	2 a 10	360
F-2	0,45	2 a 10	420
G-1	0,50	2 a 10	340
G-2	0,50	2 a 10	380

**Nota:** \* Si se emplea aditivo fluidificante los valores pueden incrementar a un máximo de 18 cm.

\*\* La edad del diseño de mezcla es de 90 días

Fuente: Construcción de Obras de Sitio de Presa del Proyecto Hidroeléctrico Pirrís. ICE, 2005

## Dosificación

“En las plantas de producción de concreto debe realizarse los siguientes procesos: realizar una dosificación por peso; las tolvas para pesaje de agregados y cemento deben descargarse por acción de la gravedad; se debe disponer de un sistema de manipulación independiente para el cemento que cuente con tolva dosificadora y balanza; los silos para éste deben tener un sello de polvo entre el silo y la tolva para evitar pérdidas de los materiales cementantes. La precisión de las balanzas de la planta puede variar hasta un 0,2 % de la capacidad de la balanza.”<sup>13</sup>

“Los aditivos líquidos deberán combinarse con el agua antes de incorporarse a la mezcla. También se requiere que cuando se empleen dos aditivos, éstos se agreguen en forma separada, para evitar que se mezclen entre

<sup>13</sup> Ídem

sí antes de combinarse con el agua de amasado que esté en contacto con el cemento.”<sup>14</sup>

## Mezcla

Debe cumplir con lo especificado en la norma ASTM C94: “En las mezcladoras con una capacidad de 1,0 m<sup>3</sup> o menos, el tiempo mínimo de mezclado deberá ser de 1 min. En mezcladoras de mayor capacidad, el tiempo mínimo de mezclado se deberá incrementar en 15 s por cada metro cúbico o fracción adicional de capacidad.”<sup>15</sup>

## Transporte

Habrán de ser de tal forma que impida que se generen los siguientes comportamientos en el concreto: segregación, pérdida de trabajabilidad, pérdida o ganancia de humedad, contaminación de la mezcla de concreto, pérdida de material fino.<sup>16</sup>

## Colocación

Antes de iniciar la colocación del concreto se debe revisar que la superficie sobre la cual se ubique esté libre de agentes que afecten la condición del concreto. Debe colocarse antes que comience el fraguado inicial y a una velocidad que permita que el concreto conserve su estado plástico. La caída del concreto debe ser vertical y a una altura no mayor a 1,5 metros. La temperatura máxima de colocado no podrá exceder los 30° C.<sup>17</sup>

Si el proceso de colocación es detenido antes de lo establecido, se genera lo que se conoce como junta fría. Este hecho requiere que se trate la superficie sobre la cual se colocará la siguiente capa para que puedan adherirse entre sí. Para hacerlo se ha de limpiar la capa de manera que se elimine el mortero y quede visible el agregado grueso.<sup>18</sup>

---

<sup>14</sup> Ídem

<sup>15</sup> Ídem

<sup>16</sup> Ídem

<sup>17</sup> Ídem

<sup>18</sup> Ídem

## Compactación

Generalmente se utiliza para este fin vibración por inmersión y se deben seguir las especificaciones detalladas en el capítulo 5 ACI 309: “Los vibradores deberán ser usados en intervalos regulares y en forma sistemática, hasta obtener una adecuada compactación del concreto. El vibrador de inmersión deberá aplicarse en forma vertical a una separación tal que garantice una adecuada compactación, lo cual será dependiendo del tipo de concreto que se esté vibrando (mayor separación de vibrado a mayor revenimiento), del diámetro de la cabeza del vibrador y de la frecuencia y amplitud de éste.”<sup>19</sup>

## Curado

Este proceso debe darse una vez que hayan transcurrido siete días de la colocación del concreto; puede ser con agua, utilizando riego, inundación, aspersion u otro. Se puede optar por el uso de membranas o selladores en caso de que las estructuras no vayan a tener contacto nuevamente con concreto.<sup>20</sup>

## Encofrados

Para este proceso es importante que se sigan los puntos que son tratados en el ACI 347.<sup>21</sup>

## Juntas

“Las juntas de construcción deberán ubicarse perpendiculares a las principales líneas de refuerzo y en general, deberán ubicarse en los puntos de mínimo esfuerzo cortante y espaciarse de acuerdo con el volumen de concreto a colocar. Antes de proceder a colocar el concreto se deberá remover toda la suciedad, y lavar la junta de construcción con aire a presión y agua, hasta exponer el agregado grueso. Las juntas de construcción en las vigas y losas deberán ser

---

<sup>19</sup> Ídem

<sup>20</sup> Ídem

<sup>21</sup> Ídem

evitadas en el claro entre las columnas. Juntas de construcción en las columnas se permitirán únicamente en los nudos con vigas y losas.”<sup>22</sup>

## Desencofrado

“Para el caso de elementos de concreto reforzado sometidos a flexión, tales como vigas y losas, la remoción de la formaleta se deberá hacer cuando el concreto haya adquirido una resistencia igual o superior al 70 % de la resistencia de diseño. Se pueden aplicar los tiempos mínimos de remoción de las formaletas indicados en ACI 347 “Práctica recomendada para formaletas destinadas a construcciones de concreto”.<sup>23</sup>

## Concreto compactado con rodillo

### Generalidades

En la actualidad se concibe al concreto compactado con rodillo (RCC por sus siglas en inglés, derivadas de Roller Compacted Concrete) como uno de los mejores materiales para ser empleado en la construcción de presas. “El RCC se derivó de dos técnicas muy difundidas en la construcción de vías: El suelo cemento y el concreto pobre, se podría decir que él es el resultado de tomar lo mejor de cada una de las técnicas mencionadas. Esto ayudó a que la aceptación del material fuera muy rápida dado que no fue necesario desarrollar equipos especiales para su mezcla, transporte y colocación del material, como tampoco para el control en el campo y en el laboratorio de las propiedades del RCC. La mayoría de Presas que se construyen con esta tecnología son tipo gravedad. Su uso data del año 1975.”<sup>24</sup>

“El RCC es una mezcla homogénea de cemento, agregados y poca agua, que exige para su colocación una energía de compactación alta, similar a la que dan los equipos de rodillos vibratorios. En estado fresco posee una consistencia seca y una relación tal, entre los

materiales constituyentes, que permite la circulación de los equipos vibratorios de compactación antes de que se endurezca la mezcla. Igual que en el concreto convencional las propiedades del RCC dependen de la calidad de los materiales utilizados, del contenido de material cementante (cemento hidráulico más adiciones activas), de la relación a/c y del grado de control empleado en todo el proceso constructivo.”<sup>25</sup>

Existen dos tipos de este material y su diferencia radica en el contenido de cemento que posean: los de “bajo contenido de cemento, tienen las siguientes características: un bajo desarrollo de calor durante el proceso de hidratación, alta permeabilidad, densidad moderada, concreto poco trabajable, pero son menos exigentes los controles durante la construcción. Las presas que se construyen de este modo necesitan algún sistema para lograr la impermeabilización de la pantalla.”<sup>26</sup> El otro tipo de material es el RCC con alto contenido de cemento, cuyas características son contrarias a todas las mencionadas anteriormente para el RCC con bajo contenido de cemento.

Se ha establecido que las presas construidas con el segundo material mencionado resultan más favorables desde el punto de vista económico; a pesar de la complejidad que encierra la logística constructiva. Lo anterior porque deben desarrollarse menos obras para lograr la impermeabilización de la estructura.<sup>27</sup>

## Ventajas del RCC

Como ejemplo puede mencionarse las siguientes:

“El vertedero se puede incorporar en la presa, contrastando con la solución dada en las de relleno de tierra en las cuales, casi siempre, el vertedero se construye en un corte en roca, realizado al borde la misma presa, lo que con regularidad implica una gran cantidad de excavación y, dependiendo de la topografía y de la geología del lugar, se puede convertir en una solución poco práctica.

Una avalancha sobre una presa de RCC es un fenómeno que en raras ocasiones la puede

---

<sup>22</sup> Ídem

<sup>23</sup> Ídem

<sup>24</sup> Londoño, 1992

---

<sup>25</sup> Ídem

<sup>26</sup> Ídem

<sup>27</sup> Ídem

dañar, por lo cual los factores de seguridad y por ende la altura de la presa pueden ser menores.

Las mayores pendientes de las caras de la presa implican fundaciones menos anchas y por lo tanto menores obras para la desviación y control del agua durante la construcción.

Por sus reducidos volúmenes, comparados con otras alternativas, la construcción es muy rápida y una presa se puede terminar en pocos meses.

Las tomas de agua se pueden incorporar a la presa, obviando las torres de captación en el interior de la presa. Este cambio significa enormes ventajas y economía en las estructuras y obras ubicadas en zonas con actividad sísmica.”<sup>28</sup>

## Desventaja

“En principio, estas presas necesitan una fundación muy sana. En algunos proyectos esta alternativa puede ser más costosa que las presas del tipo relleno de tierra dependiendo de las condiciones topográficas, de las de fundación y de la disponibilidad de los materiales de construcción.”<sup>29</sup>

## Especificaciones

Para este proyecto en específico se utiliza el RCC para la construcción del cuerpo de la presa y puede emplearse en la ataguía, su colocación requiere un trabajo continuo.<sup>30</sup> Antes de mencionar algunos de los detalles que se indican en el documento de especificaciones para Construcción de Obras de Sitio de Presa del Proyecto Hidroeléctrico Pirrís, se realiza una serie de definiciones importantes:

“El mortero de pega es un material de alto revenimiento y alto contenido de cemento, empleado para incrementar la adhesión entre coladas de RCC y mejorar la impermeabilidad rellenando los vacíos que puedan presentarse en el fondo de la colada de RCC durante la colocación y compactación.

La lechada de pega es una lechada con la misma función del mortero de pega y podrá ser empleado como una alternativa de éste.

El RCC enriquecido con lechada (REL) es un proceso constructivo donde el RCC es vibrado con lechada hasta obtener una uniformidad total, con el fin de mejorar las características físicas. El REL se utilizará como interfase entre el RCC del cuerpo de la presa y los estribos o paramentos encofrados.

Para garantizar la adherencia entre las capas de RCC se debe colocar cada capa antes que la anterior inicie su proceso de fraguado”<sup>31</sup>

## Materiales

“Los materiales cementantes son una combinación de cemento Portland y materiales puzolánicos. Deben cumplir con los siguientes requerimientos:

El cemento con contenido de puzolana menor a 40 %, debe cumplir con la norma ASTM C 595 y los materiales puzolánicos con la norma ASTM C 618.

Para cemento con contenido de puzolana mayor al 40 % deberá cumplir con la norma ASTM C 1157 para el tipo LH (bajo calor de hidratación) y los materiales puzolánicos deberán cumplir con la norma ASTM C 618.

Si el cemento a utilizar no contiene puzolana deberá cumplir con la norma ASTM C 150.

Sobre el almacenamiento se establece que puede ser de dos formas, mediante sacos o a granel. Con respecto al primero, se tiene que se deberá colocar sobre tarimas en grupos de diez sacos hasta un máximo de doce; esto le evitará que el material absorba humedad al contar con una ventilación adecuada. Si se almacenan por un periodo mayor a cuarenta y cinco días después de que fue fabricado, deberá pasar por un proceso de verificación antes de ser utilizado.”<sup>32</sup>

Si se guarda a granel “los silos de almacenamiento de cemento deberán ser herméticos y a prueba de agua. Si se almacenan por un periodo mayor a sesenta días después de

---

<sup>28</sup> Instituto Costarricense de Electricidad, 2005

<sup>29</sup> Ídem

<sup>30</sup> Ídem

---

<sup>31</sup> Ídem

<sup>32</sup> Ídem

su fabricación, tiene que ser revisado previamente a su utilización”<sup>33</sup>

Deberán realizarse ensayos de laboratorio de acuerdo con lo especificado en la normas ASTM C109 y ASTM C191; lo anterior con el fin de establecer si los especímenes analizados cumplen con los estándares de resistencia a compresión y tiempos de fraguado definidos por las normas anteriores.<sup>34</sup>

“El manejo y almacenamiento del agregado grueso deberá hacerse de tal manera que se evite la segregación de las partículas más grandes, para lo que se deberán seguir las recomendaciones que al respecto da el ACI-304.”<sup>35</sup>

Luego que el material sea procesado y transportado al sitio de trabajo, se almacenará de acuerdo con su tamaño; en un terreno cuya pendiente impida el estancamiento del agua, que se emplea para proporcionar al agregado el contenido de humedad adecuada requerido para ser empleado en las mezclas de concreto.<sup>36</sup>

<b>CUADRO 3. GRANULOMETRÍA DE LA ARENA TAJO PRESA</b>	
<b>Malla</b>	<b>Porcentaje pasando</b>
9,500 mm (3/8")	100
4,750 mm (No.4)	95-100
2,360 mm (No. 8)	75-90
1,180 mm(No. 16)	50-70
0,600 mm (No. 30)	35-55
0,300 mm (No. 50)	20-40
0,150 mm(No. 100)	10-25
0,075 mm(No. 200)	5-18

**Fuente: Construcción de Obras de Sitio de Presa del Proyecto Hidroeléctrico Pirrís, cartel de Licitación Pública N° 7225-E. ICE, 2005**

<sup>33</sup> Ídem  
<sup>34</sup> Ídem  
<sup>35</sup> Ídem  
<sup>36</sup> Ídem

<b>CUADRO 4. GRANULOMETRÍA DE LA ARENA TAJO ABEJONAL</b>	
<b>Malla</b>	<b>Porcentaje pasando</b>
9,500 mm (3/8")	100
4,750 mm (No.4)	85-100
2,360 mm (No. 8)	65-90
1,180 mm(No. 16)	55-85
0,600 mm (No. 30)	45-75
0,300 mm (No. 50)	40-70
0,150 mm(No. 100)	30-60
0,075 mm(No. 200)	25-45

**Fuente: Construcción de Obras de Sitio de Presa del Proyecto Hidroeléctrico Pirrís, cartel de Licitación Pública N° 7225-E. ICE, 2005**

<b>CUADRO 5. ESPECIFICACIONES DE AGREGADO FINO</b>	
<b>Criterio</b>	<b>Descripción</b>
<b>Agregado Fino de Tajo Presa</b>	
Módulo de Finura	Entre 2,20 y 3,15
Abrasión	No debe ser mayor a 25% (ASTM C 131).
Sanidad	No deberá ser mayor a 10% cuando se usa sulfato de sodio y 15% si se usa sulfato de magnesio (ASTM C88)
Tamaño máximo de material pasando malla 200	Se permitirá como máximo un 18 %, (ASTM C 40). Los materiales más finos a esta malla deberán ser no plásticos al evaluarse de acuerdo al método ASTM D 4318.
<b>Agregado Fino Tajo Abejonal</b>	
Varios	1. Deberá ser no plástico al evaluarse de acuerdo con el método ASTM D 4318. 2. Deberá estar libre de impurezas orgánicas al evaluarse según la norma ASTM C 40. 3. No deberá presentar reacción álcali-agregado (ASTM C 289)

**Fuente: Construcción de Obras de Sitio de Presa del Proyecto Hidroeléctrico Pirrís, cartel de Licitación Pública N° 7225-E. ICE, 2005**

<b>CUADRO 6. ESPECIFICACIONES DE AGREGADO GRUESO</b>	
<b>Criterio</b>	<b>Descripción</b>
Tamaño máximo	50 mm.
Granulometría	Cumplir con la norma ASTM C33.
Abrasión	La pérdida por abrasión no deberá ser mayor a 25% (ASTM C 131).
Sanidad	No ser mayor a 12% cuando se usa sulfato de sodio y 18% si se usa sulfato de magnesio (ASTM C88)
Tamaño máximo de material pasando malla 200	Se permite un máximo de 1% de material pasando la malla #200 (ASTM C 117).
Otros	No se permite más de 25 % por peso de partículas planas y elongadas (ASTM D 4791) y considerando que: Una partícula elongada es aquella en la cual la relación entre la longitud y el ancho es mayor que 3. Una partícula plana tiene una relación ancho-espesor mayor que 3. Para evitar problemas de segregación, se debe clasificar el agregado grueso, de acuerdo con la razón entre la dimensión máxima y mínima. Dicha razón deberá ser igual o menor que 2 para partículas mayores a 25 mm, e igual o menor que 4 para partículas menores a 25 mm.

**Fuente: Construcción de Obras de Sitio de Presa del Proyecto Hidroeléctrico Pirrís, cartel de Licitación Pública N° 7225-E. ICE, 2005**

“El agua deberá ser clara y libre de sustancias perjudiciales tales como: grasas, ácidos, sulfatos, álcalis, sales, cantidades dañinas de limo, azúcares, materias orgánicas o cualquier otra impureza. En caso de que contenga sustancias que provoquen olor o sabor inusual, turbiedad ó coloración, se le deberán realizar ensayos según la norma ASTM C 94.”<sup>37</sup>

“El aditivo deberá cumplir todos los requisitos de la norma ASTM C-494. Por ninguna razón podrán usarse aditivos que contengan cloruro de calcio.”<sup>38</sup>

## Mezclas

“Las mezclas de RCC por utilizar en la construcción de la presa de RCC deberán cumplir con lo siguiente:

El valor mínimo promedio de la resistencia a la tracción directa medida sobre muestras cortadas de testigos extraídos de las zonas de RCC-A que deberán cumplir las juntas entre dos capas de RCC es de 12 kg/cm<sup>2</sup> a 365 días. Para el caso de las zonas de RCC-B el valor de la resistencia a la tracción directa de las juntas es de 6 kg/cm<sup>2</sup> a 365 días.

Se ha estimado que el valor mínimo de la resistencia característica a compresión de cilindros de laboratorio que se necesita para alcanzar las exigencias de tracción in situ con la mezcla rica en pasta RCC-A es de 180 kg/cm<sup>2</sup> a 220 kg/cm<sup>2</sup> a 365 días y para la mezcla rica en pasta RCC-B es de 110 kg/cm<sup>2</sup> a 135 kg/cm<sup>2</sup> a 365 días.

El valor máximo del coeficiente de permeabilidad de la matriz y juntas del RCC será de 10-10 m/s a 365 días, para el RCC-A y de 10-9 a 365 días para el RCC-B. Este valor será medido tanto in situ como en laboratorio sobre muestras cortadas de testigos extraídos de las estructuras de RCC.

El valor máximo del calor de hidratación (calorimetría) del cemento con contenido de puzolana menor al 40 % será 70 cal/g y 80 cal/g a los 7 días y 28 días respectivamente. Para el conjunto de materiales cementantes, considerando que el cemento y la puzolana no se utilizan premezclados, no debe ser mayor a 60 cal/g y 70 cal/g a los 7 días y 28 días

<sup>37</sup> Ídem

<sup>38</sup> Ídem

respectivamente. Para el cemento con contenido de puzolana mayor o igual a 40 % el valor máximo del calor de hidratación será 60 cal/g y 70 cal/g a los 7 días y 28 días respectivamente. Los valores se obtendrán según la norma ASTM C186.”<sup>39</sup>

## Producción del concreto

“En las plantas de producción de concreto (ver figura 6) debe realizarse los siguientes procesos: realizar una dosificación por peso; las tolvas para pesaje de agregados y cemento deben descargarse por acción de la gravedad; se debe disponer de un sistema de manipulación independiente para el cemento que cuente con tolva dosificadora y balanza; los silos para éste deben tener un sello de polvo entre el silo y la tolva para evitar pérdidas de los materiales cementantes. La precisión de las balanzas de la planta puede variar hasta un 0,2 % de la capacidad de la balanza.”<sup>40</sup>

Es importante mencionar que la planta de producción del RCC está conformada por cuatro mezcladores, sin embargo, se emplean solamente dos de ellos. Lo anterior porque la producción se reduce si los cuatro funcionan de manera simultánea.

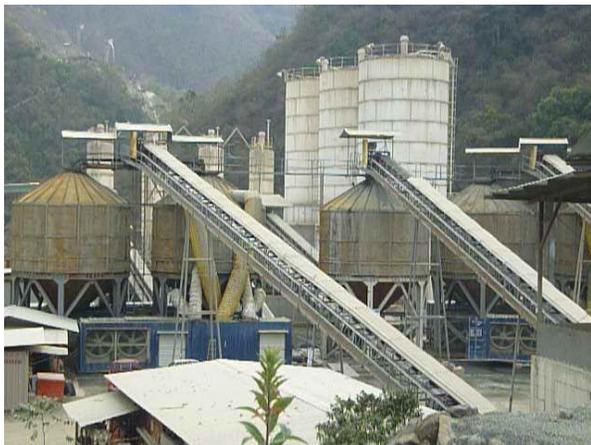


Figura 6. Planta de producción de concreto RCC. Fotografía tomada el 21 de enero del 2010 en el sitio de Presa del Proyecto Hidroeléctrico Pirris. Fuente: elaboración propia

“Para la dosificación de los aditivos deberá usarse un dispositivo que pueda medir

<sup>39</sup> Ídem

<sup>40</sup> Ídem

todo el aditivo a utilizarse en una batida y tener la previsión para el uso de dos aditivos simultáneamente. Los aditivos líquidos deberán combinarse con el agua antes de incorporarse a la mezcla. También se requiere que cuando se empleen dos aditivos, éstos se agreguen en forma separada, para evitar que se mezclen entre sí antes de combinarse con el agua de amasado que esté en contacto con el cemento.”<sup>41</sup>

## Transporte

“El transporte del RCC desde la planta de producción de concreto hasta el sitio final de colocación, deberá efectuarse con la mayor brevedad posible. Deberá ser de tal forma que impida que se generen los siguientes comportamientos en el concreto: segregación, pérdida de trabajabilidad, pérdida o ganancia de humedad, contaminación de la mezcla de concreto, pérdida de material fino.”<sup>42</sup>

El concreto deberá ser desplazado desde el sitio de producción hasta el lugar de colocación a través de bandas transportadoras. Éstas deben brindar protección al material de las condiciones climáticas que puedan afectar sus propiedades físicas y mecánicas. Es importante mencionar que el RCC debe descargarse a una altura máxima de 2,00 m. <sup>43</sup>

## Presas de RCC

Dentro de las características que presenta esta estructura pueden mencionarse las siguientes: “la longitud de cresta posee alrededor de 266 m, la altura máxima es de 113 m, posee un eje de presa rectilíneo en planta, en general posee una sección triangular. El paramento aguas arriba (ver figuras 7 y 8) presenta inicialmente una cara vertical desde la cresta hasta la elevación 1199,9 m.s.n.m, luego de esta cota continúa con un talud con relación 1H: 3V. Finalmente, en el sector de aguas abajo (ver figuras 9 y 10) la presa posee un tramo vertical superior y a partir de los 1202,6 m.s.n.m. posee una pendiente de 1H: 2V.”<sup>44</sup>

<sup>41</sup> Ídem

<sup>42</sup> Ídem

<sup>43</sup> Ídem

<sup>44</sup> Gamboa, 2009

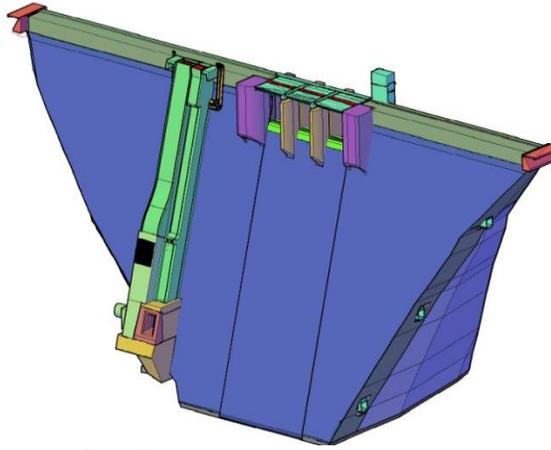


Figura 7. Paramento de Presa, aguas arriba.  
Fuente: Gamboa, 2009.



Figura 10. Vista real del Paramento de Presa, aguas arriba. Fotografía tomada el 26 de febrero del 2010 en el sitio de Presa del Proyecto Hidroeléctrico Pirris. Fuente: elaboración propia



Figura 8. Vista real del Paramento de Presa, aguas arriba. Fotografía tomada el 26 de febrero del 2010 en el sitio de Presa del Proyecto Hidroeléctrico Pirris. Fuente: elaboración propia

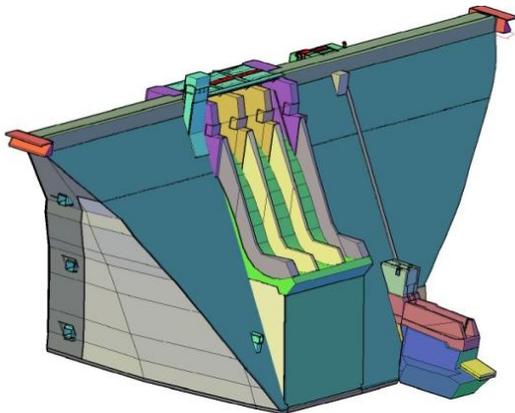


Figura 9. Paramento de Presa, aguas abajo.  
Fuente: Gamboa, 2009.

## Preparación

Una vez que se ha colocado el material y ha sido sometido a un proceso de compactación, debe realizarse un curado continuo de la superficie mediante agua. Este procedimiento es independiente del tratamiento por aplicarse a cada una de las capas antes de colocar la siguiente.<sup>45</sup>

“El tratamiento que debe recibir cada una de las capas de RCC dependerá en gran medida del factor de madurez, éste es definido mediante la fórmula siguiente:

$$FM = T * t \quad \text{ec 1}$$

Donde:

FM= Factor de madurez

T= Temperatura ambiental promedio expresada en grados centígrados, calculada con una medición de la temperatura ambiente cada hora exacta, a partir del momento en que se vertió en la presa la primera batida de concreto de la capa anterior hasta el momento en que se descargue la primera batida de la capa siguiente.

t= el tiempo transcurrido, expresado en horas, desde el momento en que se vertió la primera batida de concreto de la capa anterior hasta el momento en que se descargue la primera batida de la capa siguiente.”<sup>46</sup>

Antes de colocar el material es importante que la superficie se encuentre libre de

<sup>45</sup> ídem

<sup>46</sup> ídem

cualquier sustancia que pueda dificultar la unión entre capas, es decir hacer una limpieza superficial. Para ello se debe disponer de equipos de aspiración mediante vacío (ver figura 11).<sup>47</sup>



Figura 11. Camión aspiradora, utilizado en tratamiento de junta caliente. Fotografía tomada el 12 de marzo del 2010 en el sitio de Presa del Proyecto Hidroeléctrico Pirris. Fuente: elaboración propia

Si el factor de madurez es inferior a  $<200-400^{\circ}\text{C}$  por hora se harán un curado y limpieza como la descrita en el párrafo anterior, se así con este valor se ha formado una junta caliente.<sup>48</sup>

“Se considera una junta intermedia cuando las capas poseen un factor de madurez entre un límite inferior de  $200-400^{\circ}\text{C}$  por hora y un límite superior de  $300-600^{\circ}\text{C}$  por hora. En estas juntas se realizará un cepillado suave o lavado con agua a baja presión de la superficie expuesta con objeto de retirar la capa fina de pasta más superficial de la capa anterior. Para ello se deberá disponer de al menos un equipo de cepillado industrial de longitud superior a los 2 metros (ver figura 12).

Este equipo deberá tener la posibilidad de incorporar al menos dos tipos distintos de púas con diferente dureza (por ejemplo, plástico y metálicas) para poder adaptar la intensidad del tratamiento al estado de endurecimiento de la superficie. Además de este tratamiento debe realizarse curado y limpieza como en el caso de juntas calientes.”<sup>49</sup>



Figura 12. Equipo de cepillado industrial, utilizado en tratamiento de junta intermedia. Fotografía tomada el 10 de marzo del 2010 en el sitio de Presa del Proyecto Hidroeléctrico Pirris. Fuente: elaboración propia

“En caso de que en el relleno de prueba no se alcancen los requerimientos especificados de la resistencia a la tensión en la junta con el tratamiento de cepillado y limpieza, el Contratista deberá antes de cubrir la capa con RCC fresco, colocar una capa uniforme de mezcla de pega, de 20 mm máximo de espesor cuando se trate de mortero de pega o bien un ‘pintado’ de la superficie con lechada en caso de que su uso se demuestre apropiado tras los ensayos del relleno de prueba.

Esta pega deberá ser extendida uniformemente de manera que toda la superficie quede cubierta por él y que el consumo medio, calculado dividiendo el volumen utilizado entre el área cubierta, este entre 10 mm y 15 mm de espesor para el mortero de pega y entre 2 litros a 4 litros por  $\text{m}^2$  para la lechada de pega. El RCC no deberá vaciarse en áreas donde la mezcla de pega tiene un revenimiento menor a 12 cm en caso de mortero, o que lleve colocada más de 30 minutos en el caso de la lechada de pega.”<sup>50</sup>

En el caso en que las capas posean un factor de madurez mayor de  $300-600^{\circ}\text{C}$  por hora se presenta una junta fría. El tratamiento requerido consiste en la eliminación del mortero superficial hasta exponer el agregado grueso, mediante un lavado con agua a presión. El equipo empleado para este procedimiento se llama hidrolavadora y se muestra en la figura 13. Luego se debe ejecutar el proceso de curado y

<sup>47</sup> Ídem

<sup>48</sup> Ídem

<sup>49</sup> Ídem

<sup>50</sup> Ídem

limpieza descrito en el caso de juntas calientes. Para completar el tratamiento, debe colocarse una capa de mortero de pega sobre la superficie tratada.<sup>51</sup>



Figura 13. Hidrolavadora, utilizado en tratamiento de junta fría. Fotografía tomada el 11 de marzo del 2010 en el sitio de Presa del Proyecto Hidroeléctrico Pirris. Fuente: elaboración propia

## Colocación

Debe procurarse que al colocar el material, éste no se segregue, contamine o pierda la humedad requerida; además, ha de establecerse un control de la maquinaria que circula sobre las capas compactadas con el fin de evitar daños.<sup>52</sup>

“Las capas de RCC en el cuerpo de la presa se irán elevando según un plano horizontal desde una ladera a la otra y en calles paralelas de aguas arriba hacia aguas abajo. En la zona de mayor volumen por capa, podrá permitirse la formación de dos hiperbloques de trabajo, separados por una junta de contracción transversal de la zona central de la presa. El máximo desnivel entre ellos será de 20 metros.”<sup>53</sup>

Cuando se trabaja con las galerías de la presa (utilizadas para la instalación de instrumentación y ductos de acceso para el control de la presa), la logística de construcción difiere un poco, debido a que, aunque también se trabaja por capas, se deben dividir en calle aguas arriba y calle aguas abajo. Este proceso complica

<sup>51</sup> Ídem

<sup>52</sup> Ídem

<sup>53</sup> Ídem

la ejecución, pues los espacios para el tránsito de trabajadores y maquinaria se ven reducidos.<sup>54</sup>

El trabajo en campo realizado en la práctica profesional inició cuando la presa de RCC contaba con una elevación 1.175,30 m.s.n.m.; en ese momento del proyecto y hasta el final de la práctica, el Instituto Costarricense de Electricidad contaba con dos maneras de colocar el concreto compactado con rodillo, éstas se describen a continuación.

La primera consiste en transportar el concreto desde la planta hasta el sitio de colocación a través de una banda transportadora marca ROTEC (ver figura 14), que posee una longitud aproximada de 600 m, la cual se conecta al “Crawler Placer”: “un equipo diesel dotado de orugas y una cinta telescópica, que le permite distribuir directamente el concreto al sitio de trabajo”<sup>55</sup>. Este mecanismo de distribución posee un radio de trabajo de 66 metros y la longitud de la cinta que lo compone es de alrededor de 27 m. En la figura 15 se muestra una fotografía que describe este equipo.<sup>56</sup>

Si el sitio de colocación se encuentra fuera del alcance del equipo anterior, es necesario contar con vagonetas; sobre las cuales se descarga el material y éstas lo transportan al lugar requerido (ver figura 16). En promedio, se trabaja con dos vagonetas articuladas (ver figura 17), las cuales son llenadas a una capacidad promedio de siete metros cúbicos.



Figura 14. Banda transportadora ROTEC. Fotografía tomada el 21 de enero del 2010 en el sitio de Presa del Proyecto Hidroeléctrico Pirris. Fuente: elaboración propia

<sup>54</sup> Ídem

<sup>55</sup> Uribe, 2005

<sup>56</sup> Gamboa, 2009



Figura 15. Crawler Placer. Fotografía tomada el 21 de enero del 2010 en el sitio de Presa del Proyecto Hidroeléctrico Pirris. Fuente: elaboración propia



Figura 16. Descarga de material de Crawler Placer a Vagonetas. Fotografía tomada el 26 de febrero del 2010 en el sitio de Presa del Proyecto Hidroeléctrico Pirris. Fuente: elaboración propia



Figura 17. Vagoneta utilizada en la colocación de RCC. Fotografía tomada el 11 de marzo del 2010 en el sitio de Presa del Proyecto Hidroeléctrico Pirris. Fuente: elaboración propia

En el momento en que se presenta alguna avería en la banda transportadora, se utiliza el otro método de colocación de concreto: utilizar vagonetas para transportar el material desde la planta de producción hasta un equipo conocido en el proyecto como “Chute”. Básicamente, el elemento anterior permite distribuir el concreto a las vagonetas, las cuales se encuentran en el sitio de colocación. Este método retrasa el proceso en gran medida, debido a la distancia de acarreo, las complicaciones generadas por el tránsito del resto de maquinaria del proyecto (ver figura 22) y porque la velocidad con se carga las vagoneta es menor, que cuando se emplea la banda transportadora y el Crawler.

En este procedimiento se trabaja también con un promedio de dos vagonetas, a una capacidad aproximada de siete metros cúbicos. Las vagonetas de acarreo; así como, el “Chute” y el proceso de colocación mediante este método, serán mostrados en las figuras 18, 19, 20 y 21.



Figura 18. Vagonetas utilizadas en el transporte de RCC. Fotografía tomada el 23 de febrero del 2010 en el sitio de Presa del Proyecto Hidroeléctrico Pirris. Fuente: elaboración propia



Figura 19. Vista de “Chute” desde la zona de margen derecha de la presa. Fotografía tomada el 23 de febrero del 2010 en el sitio de Presa del Proyecto Hidroeléctrico Pirris. Fuente: elaboración propia



Figura 20. Vista de "Chute" desde la zona de aguas arriba de la presa. Fotografía tomada el 21 de enero del 2010 en el sitio de Presa del Proyecto Hidroeléctrico Pirris. Fuente: elaboración propia



Figura 21. Carga de vagonetas mediante el "Chute". Fotografía tomada el 27 de febrero del 2010 en el sitio de Presa del Proyecto Hidroeléctrico Pirris. Fuente: elaboración propia



Figura 22. Complicaciones en el acarreo de RCC. Fotografía tomada el 24 de febrero del 2010 en el sitio de Presa del Proyecto Hidroeléctrico Pirris. Fuente: elaboración propia

Es importante mencionar que las capas de RCC tendrán, luego de su compactación, un espesor de  $30\text{ cm} \pm 30\text{ mm}$ . Además, se ha establecido que el vaciado del concreto desde las vagonetas, debe realizarse de manera que el acopio de material no posea una altura mayor a un metro.<sup>57</sup>

Como restricciones de colocación se tienen las siguientes: "la temperatura máxima de la mezcla al momento del colocado deberá estar en un rango entre los  $22^{\circ}\text{C}$  y los  $26^{\circ}\text{C}$ ; la colocación del RCC no podrá ser mayor a 57 000 metros cúbicos por bisemana, sin la aprobación del ingeniero; por último, se deberá detener la colocación si se registra lluvia con intensidad horaria de  $2,5\text{ mm/h}$ ."<sup>58</sup>

Posterior al vaciado y por medio de un tractor de oruga de baja presión (ver figura 23) se procede con el extendido del material. Este procedimiento se ejecuta de forma continua y uniforme hasta lograr una superficie regular.<sup>59</sup>

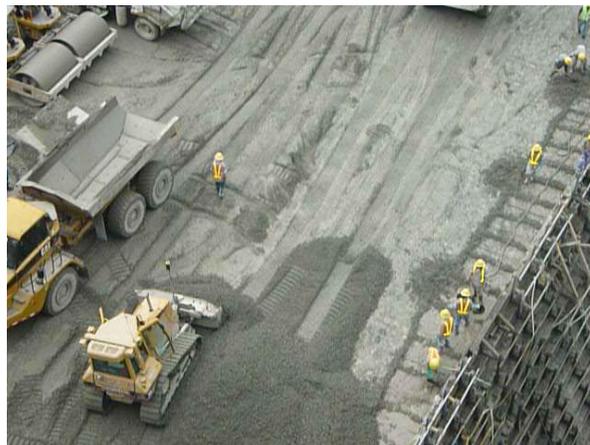


Figura 23. Tractor de Orugas utilizado en el extendido de RCC. Fotografía tomada el 19 de marzo del 2010 en el sitio de Presa del Proyecto Hidroeléctrico Pirris. Fuente: elaboración propia

## Compactación

Para ejecutar este proceso deben utilizarse compactadores de rodillo liso vibratorio (ver figura 24). Se restringe el uso en zonas que posean una distancia menor a  $0,5\text{ m}$  de la formaleta; en estos casos, deben emplearse rodillos vibratorios pequeños (ver figura 25).

<sup>57</sup> Instituto Costarricense de Electricidad, 2005.

<sup>58</sup> Ídem

<sup>59</sup> Ídem



Figura 24. Compactador de Rodillo Liso Vibratorio. Fotografía tomada el 24 de marzo del 2010 en el sitio de Presa del Proyecto Hidroeléctrico Pirris. Fuente: elaboración propia



Figura 25. Compactador de Rodillo Vibratorio. Fotografía tomada el 26 de febrero del 2010 en el sitio de Presa del Proyecto Hidroeléctrico Pirris. Fuente: elaboración propia

“La primera pasada con rodillo vibratorio se realizará sin vibrar y luego se aplicarán las pasadas necesarias en modo vibratorio para obtener el espesor requerido.

La compactación de cada capa se realizará de tal manera que se obtenga una superficie lo más uniforme posible. Deberá existir un traslape mínimo de 20 cm y máximo 50 cm entre franjas de compactación.”<sup>60</sup>

El cuadro 7, a continuación, contiene los tiempos requeridos para el inicio y fin de cada compactación:

CUADRO 7. TIEMPOS MÁXIMOS ENTRE MEZCLADO Y COMPACTACIÓN DE RCC		
Temperatura Ambiente T	Tiempo entre mezclado e inicio de compactación (min)	Tiempo entre mezclado y fin de compactación (min)
T >25°C	60	90
25°C ≥ T ≥ 20°C	90	120
T <20°C	120	150

Fuente: Construcción de Obras de Sitio de Presa del Proyecto Hidroeléctrico Pirris, cartel de Licitación Pública N° 7225-E. ICE, 2005

## Juntas de contracción

El proceso de inducción de juntas se realiza al término de la compactación, a una altura mínima equivalente a dos tercios del espesor total de la capa. El primer paso del proceso consiste en realizar el trazo de la junta, sobre la superficie de RCC compactado; posteriormente y con ayuda del equipo multicarga (Multiloader, observar figura 26), se introducen las lámina plásticas que serán empleadas. Debe existir una distancia mínima de 2 cm entre cada una en la junta, pero esta separación no debe exceder el 5% de la longitud de la lámina. Al terminar la inducción se debe compactar la sección que fue tratada.<sup>61</sup>



Figura 26. Equipo empleado en la inducción de juntas. Fotografía tomada el 24 de marzo del 2010 en el sitio de Presa del Proyecto Hidroeléctrico Pirris. Fuente: elaboración propia

<sup>60</sup> Ídem

<sup>61</sup> Ídem

## RCC enriquecido con lechada

El RCC enriquecido con lechada (REL) es un proceso que se realiza alrededor del ducto de acceso, estribos y en los paramentos a una distancia de 50 cm de éstos. Los estribos son los lados de la presa que se encuentran en las márgenes izquierda y derecha; por su parte, los paramentos se encuentran en las “caras” de ésta, es en ellos donde se coloca la formaleta.

Una vez que el RCC es vaciado en el sitio, por medio de palas y minicargadores se va formando el canal para el REL (ver figura 27). Se procede con la colocación de RCC en la sección indicada, la adición de lechada y vibración del material de forma manual o mecánica (ver figuras 28 y 29).

Este proceso se hace con el fin de impermeabilizar y evitar segregaciones que afecten la estructura al realizarse el desencofrado. Además, con la lechada se puede obtener un mejor acabado desde el punto de vista estético.

“La cantidad de lechada utilizada para este procedimiento es de alrededor de 8 litros por metro lineal. El tiempo máximo transcurrido desde la colocación de la lechada y el extendido del RCC en esa zona no será superior a los 30 minutos. Entre el extendido del RCC sobre la lechada y la conclusión de la consolidación del REL no deberán transcurrir más de 30 minutos.”<sup>62</sup>



Figura 27. Conformación de canal para trabajos de REL. Fotografía tomada el 24 de febrero del 2010 en el sitio de Presa del Proyecto Hidroeléctrico Pirris. Fuente: elaboración propia

<sup>62</sup> Ídem



Figura 28. Trabajos de REL: Vibración manual. Fotografía tomada el 23 de marzo del 2010 en el sitio de Presa del Proyecto Hidroeléctrico Pirris. Fuente: elaboración propia



Figura 29. Trabajos de REL: Vibración mecánica. Fotografía tomada el 24 de febrero del 2010 en el sitio de Presa del Proyecto Hidroeléctrico Pirris. Fuente: elaboración propia

## Formaletas de los paramentos

En el proyecto se utilizan paneles de formaleta mecánica con dimensiones de 8,00x0,61 m., movilizadas entre las capas a través de grúas móviles o tipo torre. En la figura 30 se muestra un esquema los elementos que conforman la formaleta; en la figura 31 una fotografía de la utilizada en el proyecto.

En la obra se trabaja con distintos tipos de formaleta que ofrece el mercado; sin embargo, la más utilizada es la formaleta Doka. Por lo anterior en la sección de resultados cuando se

mencione formaleta mecánica, se hace referencia a las diversas marcas comerciales con las que se labora. Esta distinción se realiza, tal y como se establece en la información utilizada por los inspectores de campo.

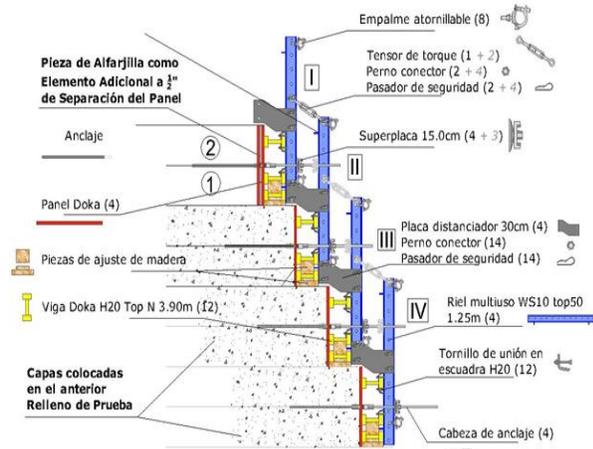


Figura 30. Esquema de formaleta utilizada, cada panel tiene un altura de 60 cm y la grada una dimensión de 30 cm. Fuente: Gamboa, 2009



Figura 31. Formaleta mecánica utilizada. Fotografía tomada el 24 de febrero del 2010 en el sitio de Presa del Proyecto Hidroeléctrico Pirris. Fuente: elaboración propia

## Conceptos de estadística

Se presenta a continuación una serie de conceptos relacionados con la estadística; los cuales permitirán comprender la información, que al respecto se muestra en la sección de resultados de este informe.

a) Estadística: “Disciplina científica dedicada al desarrollo y aplicación de la teoría y las técnicas apropiadas para la recolección,

clasificación, presentación, análisis e interpretación de información cuantitativa obtenida por observación o experimentación.”<sup>63</sup>

b) Población: “Conjunto de todos los elementos de interés de un estudio.”<sup>64</sup>

c) Muestra: “Es un subconjunto de la población.”<sup>65</sup>

d) “Media: Es el promedio o medida que se utiliza con mayor frecuencia. Se calcula sumando todas las observaciones de un conjunto de datos, dividiendo después ese total entre el número de datos involucrados.”<sup>66</sup>

e) Mediana: “Es el valor que se ubica en el centro de una secuencia ordenada de datos, ya sea de forma ascendente o descendente. No se ve afectada por observaciones extremas en un conjunto de datos.”<sup>67</sup>

f) Varianza: “Es el promedio de los cuadrados de las diferencias entre cada una de las observaciones de un conjunto de datos y la media muestral.”<sup>68</sup>

g) Desviación estándar: “Corresponde a la raíz cuadrada de la varianza y constituye la medida de dispersión más utilizada para muestras de gran tamaño.”<sup>69</sup>

h) Error estándar: “Refleja la dispersión de las medias entorno a la media de la distribución muestral.”<sup>70</sup>

## Estudio del trabajo

La Organización Internacional del Trabajo (OIT) ha formulado la siguiente definición con respecto del estudio de trabajo: “Es el examen sistemático de los métodos para realizar actividades con el fin de mejorar la utilización eficaz de los recursos y establecer normas de rendimiento con respecto a las actividades que se están realizando”.<sup>71</sup>

Con la medición del trabajo se pueden establecer patrones como la cantidad de recursos y tiempo que necesita cada actividad. Este hecho

<sup>63</sup> Salas, 2006

<sup>64</sup> Ídem

<sup>65</sup> Ídem

<sup>66</sup> Ídem

<sup>67</sup> Ídem

<sup>68</sup> Ídem

<sup>69</sup> Ídem

<sup>70</sup> Ídem

<sup>71</sup> OIT, 1996

contribuye con la planificación, control de producción y de costos, reducción de tiempos improductivos, optimización de recursos y aumento de la productividad.<sup>72</sup>

“Algunas de las técnicas de medición del trabajo que pueden aplicarse son: la especificación de los tiempos transcurridos mediante el reporte diario, técnica de cronometraje y el método de observación instantánea o de muestreo del trabajo.”<sup>73</sup>

“El procedimiento para el estudio del trabajo se describe a continuación:

a) Seleccionar la actividad o proceso a estudiar.

b) Registrar por observación directa utilizando formatos preestablecidos.

c) Analizar los hechos registrados de forma crítica; considerando el orden o secuencia en que se ejecuta, quienes lo ejecutan, métodos empleados, si las distancias horizontales y verticales son apropiadas.

d) Idear el método más económico tomando en cuenta todas las condiciones y restricciones.

e) Medir la cantidad de trabajo que exige el método elegido y calcular el tiempo que lleva hacerlo.

f) Definir el nuevo método y el tiempo correspondiente para que pueda ser identificado en cualquier momento.

g) Implantar el nuevo método como práctica general aceptada con el tiempo fijado.

h) Mantener el uso en la nueva práctica mediante procedimientos de control ordenados.”<sup>74</sup>

## Definiciones

Algunos conceptos importantes relacionados con el estudio del trabajo se explican a continuación:

a) Productividad: Según la Organización Internacional del Trabajo es la relación existente entre producción e insumos. Estos últimos pueden ser terrenos, edificios, materiales, energía, máquinas, equipo y recurso humano.<sup>75</sup>

b) Curva de aprendizaje: Se relaciona con el hecho de que un trabajador al ejecutar en

<sup>72</sup> Rodríguez, 1999

<sup>73</sup> Ídem

<sup>74</sup> Ídem

<sup>75</sup> OIT, 1996

repetidas ocasiones una labor adquiere cierta habilidad, lo cual le permite reducir el tiempo para obtener el mismo resultado; con ello, se genera un aumento de la productividad.<sup>76</sup>

d) Rendimiento: Constituye la inversa de la relación que se establece en productividad.<sup>77</sup>

e) Tiempo improductivo: Es aquel en el cual los esfuerzos que realizan los trabajadores o la omisión de estos, no contribuye con el avance del proceso constructivo.<sup>78</sup>

f) Proceso y actividad: “Según Koskela el proceso se entiende como el flujo de material o información desde la materia prima hasta el producto final. En este flujo existen las actividades de procesamiento, que representan la conversión de la producción; las actividades de inspección, movimiento y espera, que son denominadas actividades de flujo.”<sup>79</sup>

g) Operación: “Es aquella que resulta en la colocación o instalación de un elemento definible de trabajo, para lo cual se incluyen algunos procesos tecnológicos y se tiene una estructura de tareas asignadas.”<sup>80</sup>

## Técnicas de medición de la productividad

### “Work Sampling”

El conocimiento total de los rendimientos de mano obra en un proyecto requiere de una observación continua; a su vez, este proceso tiene un alto costo económico al necesitar de gran cantidad de observadores para llevarlo a cabo. Por lo anterior, resulta conveniente aplicar la técnica de “Work Sampling” o muestreo del trabajo.<sup>81</sup>

“El muestreo, a pesar que los resultados que presenta no son exactos, se utiliza para establecer una medida de la productividad; que

<sup>76</sup> Ídem

<sup>77</sup> Rodríguez, 1999

<sup>78</sup> Ídem

<sup>79</sup> Almeida et al, 2001

<sup>80</sup> Fuster, 2004

<sup>81</sup> Hizen, 2009

genera datos con suficientes detalles para tomar decisiones efectivas.”<sup>82</sup>

“Mientras que las observaciones continuas no son prácticas, las observaciones de muy pocos puede no ser significativas. El número mínimo requerido de tales observaciones se puede determinar mediante el uso de estadísticas.”<sup>83</sup> Sin embargo, para el sector constructivo se ha establecido un mínimo de 385; esta cantidad representa un grado de confianza del 95%<sup>84</sup>

Esta técnica consiste en una serie de observaciones en el tiempo, a un grupo de trabajadores, con el fin de determinar las acciones hechas durante el periodo de medición. Este estudio permite identificar las causas de improductividad de los procesos analizados. Además, resulta importante mencionar que generalmente al aplicar esta técnica en los proyectos de construcción, se obtiene una productividad entre el 40-60%.<sup>85</sup>

Al aplicar la técnica se debe tener en cuenta que el trabajo de construcción se puede clasificar en tres grupos: trabajo real, trabajo de apoyo y atraso. La incorporación de las observaciones en cada categoría depende de la persona que aplica el método de medición.<sup>86</sup>

“La categoría de trabajo real incluye acciones propias del proceso que se ejecuta; la segunda clasificación incluye supervisión, planeamiento, formulación de instrucciones, traslado de trabajadores para obtener materiales o herramientas. Por último, se entiende por retraso la espera de los trabajadores a que una actividad termine, o el tiempo en que el personal comienza después o termina antes sus labores.”<sup>87</sup>

## “Five Minute Rating”

El nombre de esta técnica puede traducirse como “Valoraciones de Cinco Minutos”; pero como el lapso en los que se puede medir no es necesariamente cinco minutos, puede llamarse “Medición en Intervalos de Tiempo”.

---

<sup>82</sup> Ídem

<sup>83</sup> Ídem

<sup>84</sup> Leandro, 2009

<sup>85</sup> Schwarzkopf, 2004

<sup>86</sup> Ídem

<sup>87</sup> Ídem

“Los estudios de muestreo del trabajo pueden llevarse a cabo rápidamente, pero todavía requieren la inversión de una cantidad razonable de tiempo.

Si el ritmo de trabajo es inferior a lo esperado, un análisis más a menudo será necesario para identificar la fuente específica del problema. Si una operación es sospechosa y se desea un poco más de información, resulta más apropiado aplicar la técnica del “Five Minute Rating”. ”<sup>88</sup>

“Este método permite evaluar de forma rápida el nivel de productividad de un grupo de trabajadores que desempeña una tarea específica. Los resultados obtenidos son subjetivos; ya que dependen del criterio de cada observador. Sin embargo, son una base para establecer conclusiones.”<sup>89</sup>

## “Crew Balance”

“El concepto “crew balance” (balance de cuadrilla) fue desarrollado por ingenieros industriales y fue conocido como un gráfico de hombre-máquina. Éste mostró la capacidad de producción de varias combinaciones de hombre-máquina. Dada la naturaleza incierta de un proyecto de construcción, la industria de la construcción también necesita de una herramienta para estudiar las secuencias y duraciones de las actividades. Un ejemplo de ello son los gráficos producto del balance de cuadrillas.”<sup>90</sup>

Esta técnica consiste en hacer un gráfico de barras vertical, que muestre las acciones de la cuadrilla en el tiempo de observación. En el eje horizontal de gráfico que se elabora, se coloca a cada uno de los trabajadores de la cuadrilla; en el vertical se muestra la duración de cada una de las actividades del trabajador en el tiempo de medición.<sup>91</sup>

“Con el Crew Balance se pueden reasignar las tareas entre los distintos miembros de la cuadrilla; logrando de esta forma, reducir los tiempos muertos e incrementar la productividad. Sin embargo, los resultados se deben manejar con cuidado, ya que el hecho de que los

---

<sup>88</sup> Hizen, 2009

<sup>89</sup> Ídem

<sup>90</sup> Fakhouri & Kuprenas, 2001

<sup>91</sup> Ídem

miembros de la cuadrilla estén trabajado, no implica que el método que empleen para realizarlo es el más adecuado.”<sup>92</sup>

## Improductividad

En este segmento se presentan los principales factores que afectan la productividad de los procesos de construcción. Esta información se basa en la investigación publicada por la Universidad Católica de Chile, en el artículo de la Revista de Ingeniería de Construcción: “*Recomendaciones para aumentar la productividad en la construcción*”.

## Problemas que afectan la productividad de mano de obra

El primer problema que se expone en el artículo mencionado es el de viajes excesivos; entre las causas se encuentra el inadecuado diseño del sitio, lo cual “se traduce en dificultades de accesibilidad a las distintas zonas de trabajo, fallas en la seguridad de la obra debido a rutas de circulación poco adecuadas, distancias excesivamente largas para el transporte entre las distintas áreas, entre otros”<sup>93</sup>

Para contrarrestar este impacto en la productividad, en el momento de planificación de la obra deben tomarse en cuenta aspectos como los siguientes: estudiar la topografía del sitio para establecer rutas estratégicas de acceso, que se adecuen a las condiciones del terreno; ajustar el diseño de sitio al avance de la obra; por último, debe analizarse la colocación de los lugares de abastecimiento de energía eléctrica y de agua, de tal manera que no interfiera con el resto de procesos en ejecución ni genere retrasos por el desplazamiento de los trabajadores a estos sitios.<sup>94</sup>

El aprovisionamiento de materiales y herramientas a las cuadrillas de trabajo puede mencionarse como otra causa. Para ello se puede contar con una cuadrilla que se dedique exclusivamente a la administración y despacho

de materiales<sup>95</sup>. También se pueden establecer “sistemas de comunicación por radio entre los maestros de obras, encargados de materiales y profesionales; éstos constituyen un medio, tanto para pedido de materiales como para confirmación de información, evitando viajes y permitiendo tener un mejor seguimiento de los recursos asignados.”<sup>96</sup>

Otro problema son las esperas y detenciones, causado por falta de materiales, inadecuada planificación, cuadrilla de trabajo desbalanceada. “Con el fin de reducir estas interrupciones se aconseja desarrollar un seguimiento de las operaciones relevantes, mediante estudios de rendimientos y muestreos del trabajo, para detectar a tiempo cualquier ineficiencia que se genere. Al confirmar la existencia de este tipo de problemas es necesario realizar un análisis detallado de la operación que se está ejecutando para, de esta forma, corregir todos aquellos aspectos que generan problemas de productividad en la tarea que se estudia.”<sup>97</sup>

Otro factor que afecta la productividad y se relaciona con la mano de obra es la coordinación entre cuadrillas de trabajo. Es decir, los retrasos que se generan por la interrupción que se da entre cuadrillas que ejecutan diversos procesos. Para contrarrestar este efecto deben existir planes de trabajo a corto plazo, en el que se establezca la jerarquía de ejecución.<sup>98</sup>

También se menciona los tiempos muertos producto de la espera por instrucciones. Éstas constituyen el medio por utilizar por los maestros de obras para dar a conocer el plan de acción por seguir. El hecho de que éstas no se den a tiempo provoca incertidumbre en el personal; además, puede generar interrupciones al resto de trabajadores que está ejerciendo sus funciones.<sup>99</sup>

Por último, se puede indicar el trabajo lento producto de, entre otras causas, fatiga y motivación. El rendimiento de los trabajadores puede verse afectado por el cansancio físico y mental generado, en muchas ocasiones, por exceso de trabajo. Si el proyecto requiere de gran cantidad de horas diarias de trabajo, se plantea como alternativa el uso de turnos adicionales; al

---

<sup>92</sup> Ídem

<sup>93</sup> Martínez et al, 1990

<sup>94</sup> Ídem

---

<sup>95</sup> Ídem

<sup>96</sup> Ídem

<sup>97</sup> Ídem

<sup>98</sup> Ídem

<sup>99</sup> Ídem

emplear dos o más turnos se obtienen resultados más productivos que el empleo de horas extra. Además, se puede contar con cuadrillas adicionales que permitan la rotación de personal sin la necesidad de detener el proceso.<sup>100</sup>

“La motivación, junto con la capacitación y la administración, es uno de los factores de mayor incidencia en el recuso humano.”<sup>101</sup> La motivación puede trabajarse mediante un mejoramiento en la comunicación entre los distintos niveles del proyecto; para ello se recomienda la realización de reuniones periódicas entre los maestros de obras, administradores y profesionales, mantener informados a los trabajadores; además, se puede crear un clima de confianza, basado en el respeto, que permita a los trabajadores a expresar sus opiniones y recomendaciones sobre el proyecto, sin temor a represalias.<sup>102</sup>

## Problemas que afectan la productividad de los recursos

Esta sección se relaciona con los problemas que afectan la productividad de los materiales; básicamente, generados por una inadecuada planificación de éstos.<sup>103</sup>

Lo anterior representa un aumento de tiempos muertos, costos y fluctuaciones en la calidad de las obras. Como solución se “requiere un esfuerzo de desarrollo de sistemas de planificación, que permitan solicitar con antelación los recursos a los proveedores y que controlen la distribución del material hasta el sitio en construcción. Se debe comprometer a los maestros de obra a realizar de forma oportuna sus pedidos, a respetar la asignación definida para cada cuadrilla y a dirigir a los trabajadores baso su cargo en una correcta manipulación y transformación de los recursos.”<sup>104</sup>

---

<sup>100</sup> Ídem

<sup>101</sup> Ídem

<sup>102</sup> Ídem

<sup>103</sup> Ídem

<sup>104</sup> Ídem

## Tiempos improductivos

En este apartado se muestra la lista que el Centro de Apoyo de Proyectos (CAP) elaboró respecto de las causas de los tiempos improductivos<sup>105</sup>:

a) Acceso a las propiedades: tiempos relacionados con problemas de acceso a las propiedades, donde se van a realizar las labores de trabajo.

b) Accidentes laborales: tiempos relacionados con los accidentes laborales que se pueden originar en las obras y por ende la detención de las actividades de trabajo.

c) Acomodo y retiro de equipo de perforación exploratoria: tiempos relacionados con el acomodo y retiro del equipo de perforación exploratoria, ya que para su acomodo y retiro hay que detener las actividades de avance en la obra.

d) Avería de maquinaria y equipos de trabajo: tiempos relacionados con las averías en la maquinaria alquilada, equipo menor alquilado, maquinaria y equipo menor I.C.E que afecten directamente las actividades de trabajo.

e) Avería formaleta mecánica - revestimiento túnel: tiempos relacionados con las averías que se dan en la actividad de la colocación de la formaleta en revestimiento del túnel y que afecten directamente.

f) Averías de mallas-bandas transportadoras-panel de control: tiempos relacionados con las averías que se dan en la actividad de producción de agregados - quebradores y que afecten directamente la producción.

g) Averías plantas de concreto: tiempos relacionados con las averías (incluye todos los componentes de la planta) que se dan en la producción de concreto, específicamente en las plantas de concreto y que afecten directamente la producción.

h) Averías quebradores - primario - secundario - terciario - cuaternario: tiempos relacionados con las averías que se dan en los equipos de producción de agregados y que afectan directamente la producción diaria.

i) Condiciones climáticas extremas: tiempos relacionados con las condiciones climáticas extremas que afecten directamente el

---

<sup>105</sup> CAP, 2008

avance de la obra (rayería, lluvias fuertes, inundaciones, etc.)

j) Condiciones de acceso difíciles a la obra: tiempos relacionados con las condiciones de acceso que afecten directamente el ingreso al lugar de trabajo y que por ende ocasionen atraso con el inicio de las labores de trabajo.

k) Condiciones del terreno: tiempos relacionados con las condiciones del terreno que afecten directamente con el inicio de las labores de trabajo.

l) Disponibilidad de la línea de transmisión (CENSE): tiempos relacionados con la disponibilidad de la línea de transmisión y que afecten directamente con el inicio de las labores de trabajo.

m) Falta de agua: tiempos relacionados con la falta de agua y que afecten directamente con el inicio de las labores bien sean suspendidas, por ejemplo chorreas de concreto, trabajos de perforación, etc.

n) Falta de fluido eléctrico: tiempos relacionados con la falta de agua y que afecten directamente con el inicio de las labores bien sean suspendidas, por ejemplo chorreas de concreto, trabajos de perforación, etc.

o) Falta de maquinaria y equipos de trabajo: tiempos relacionados directamente con la falta de maquinaria y equipos para iniciar los trabajos en la obra.

p) Falta de materiales de trabajo: tiempos relacionados directamente con la falta de materiales, para iniciar los trabajos en la obra, acá importante retomar la idea de que son materiales de peso por ejemplo cemento, acero, agregados, etc.

q) Ingreso y salida de personal de trabajo de la obra: tiempos relacionados directamente con la falta de materiales, para iniciar los trabajos en la obra, acá importante retomar la idea de que son materiales de peso por ejemplo cemento, acero, agregados, etc.

r) Mantenimiento de equipo de perforación-explotación de tajos: tiempos relacionados directamente con la falta de materiales, para iniciar los trabajos en la obra, acá importante retomar la idea de que son materiales de peso por ejemplo cemento, acero, agregados, diesel, etc.

s) Mantenimiento de mallas-bandas transportadores-panel de control: tiempos relacionados directamente con el mantenimiento de los equipos del centro de producción de

agregados y que por el mismo mantenimiento afectan la producción diaria.

t) Obstrucción en la tubería de concreto: tiempos relacionados directamente con las obstrucciones que se dan en las tuberías que se usan en la colocación de concreto y que afectan el avance del día (revestimiento, concreto lanzado, concretos de obra gris)

u) Otros: Se reportan todas las actividades que generan tiempos improductivos y que no están contemplados en el Listado Oficial de Tiempos Improductivos.

v) Problemas con cemento (suministro-altas temperaturas): tiempos relacionados directamente con los atrasos ocasionados por los problemas que genera el cemento en las obras o plantas de concreto ya sea el suministro o las altas temperaturas las cuales muchas veces hacen que se suspendan los trabajos (concretos de obra gris, revestimiento, inyección, etc.)

w) Problemas de aguas (tope inundado): tiempos relacionados directamente con los problemas por aguas en los túneles, los cuales afectan directamente el avance de la obra (manejo de aguas, tope inundado, etc.)

x) Problemas de ventilación: tiempos relacionados directamente con los problemas de ventilación que se dan en las obras, específicamente en las obras subterráneas, por ejemplo no es necesario que el sistema de ventilación este en avería, sino que no cumple con la capacidad necesaria de ventilación y por consiguiente se tengan que detener las obras.

y) Problemas sistema de bombeo – inundación: tiempos relacionados directamente con los problemas de sistema de bombeo o inundaciones que se puedan presentar en las diferentes obras, por ejemplo las crecidas de los ríos que afectan muchas veces las tomas de aguas o por ejemplo en las estructuras de obra gris donde muchas veces no se cuenta con los sistemas de bombeo indicados.

z) Reuniones con el personal de la obra: tiempos relacionados directamente con las reuniones que se realizan con el personal de la obra ya sean capacitaciones, reuniones informativas o de seguimiento y que detengan las actividades en la obra.

aa) Trabajos complementarios -subestaciones: tiempos relacionados directamente con las diferentes actividades complementarias que se puedan originar y que afecten directamente el avance de la obra.

ab) Trabajos complementarios (colocación de acero, formaleta, concreto): tiempos relacionados directamente con las diferentes actividades complementarias (alineamiento de acero, formaleta, reparaciones de concreto, etc.) que se puedan originar y que afecten directamente el avance de la obra.

ac) Trabajos de desconche: tiempos relacionados directamente con las voladuras que no salen completamente después de su detonación y deben realizarse trabajos de desconche, ya sea en la voladuras a cielo abierto o en las excavaciones subterráneas.

ad) Trabajos de topografía: tiempos relacionados directamente con los trabajos que realizan las cuadrillas de topografía en los diferentes frentes de trabajo y se debe detener la actividad, para que realicen el trabajo.

ae) Traslado de transformadores: tiempos relacionados directamente con el traslado interno de los transformadores de un lugar a otro y provocan atraso en las obras, por ejemplo: el traslado de los transformadores en los túneles.

af) Visitas a la obra: tiempos relacionados directamente con las visitas que se realicen a los frentes de trabajo, ya sean visitas a nivel general, administrativas, dirección de proyecto, grupos, etc. y originen el detener las obras.

# Metodología

El trabajo que se presenta es el resultado de una serie de actividades, las cuales se enfocaron en cumplir cada uno de los objetivos expuestos en la parte introductoria de este informe. Se procede a realizar una descripción del procedimiento empleado para tales fines.

La logística constructiva que se emplea en las actividades de obra gris del proyecto hidroeléctrico fue analizada mediante visitas guiadas al campo, en las cuales se logró consultar a los profesionales y técnicos de la obra acerca de los detalles de los procesos que se estaban ejecutando. Además, se tuvo acceso a los planos constructivos y al documento “Especificaciones para construcción de obras de sitio de presa del Proyecto Hidroeléctrico Pirrís, Licitación Pública N° 7225-E”, que permitieron ampliar la información relacionada con la construcción de la obra.

Como se mencionó en los apartados anteriores, el proyecto se dividió en dos partes; una primera etapa, relacionada con el procesamiento estadístico y análisis de la información capturada en el campo por los inspectores. Para este segmento se utilizaron las actividades de presa que involucran el uso de concreto compactado con rodillo (RCC, por sus siglas en inglés) y concretos convencionales. Por su parte, en la segunda sección, relacionada con la aplicación de tres técnicas de campo para la medición de productividad, se analizaron solamente las actividades relacionadas con el RCC, debido a que en el momento de las observaciones eran las que poseían una mayor representación en el proceso constructivo.

Para completar el análisis del estudio estadístico fue necesario descargar de la página de internet del Centro de Apoyo de Proyectos (CAP) del Instituto Costarricense de Electricidad (I.C.E.), los formularios F-01 y F-08: el primero corresponde a concretos convencionales y el siguiente a RCC. Estos formularios son digitados y colocados en la red interna del I.C.E., luego de

ser recopilados en el campo por los inspectores asignados.

Luego de contar con la información necesaria, se continuó con el cálculo de rendimiento de mano de obra, equipo y el avance realizado o producto obtenido, dependiendo de la actividad, por hora. Se debe aclarar que no fueron utilizados todos los valores, sino que luego del cálculo, se realizaba un análisis manual de los datos con el fin de obtener una muestra representativa.

Con los datos seleccionados y para cada actividad, se elaboró una tabla en la cual se muestra el tamaño del rango de datos, la media, mediana, el valor máximo y mínimo, la desviación estándar (estos valores fueron calculados utilizando las fórmulas del programa Microsoft Excel 2007) y el error estándar (éste último fue obtenido al utilizar un software de estadística llamado MINITAB Realease 14). Esta información tabulada es presentada en la sección de resultados. Además, mediante el complemento de Análisis de Datos de Excel 2007, se logró generar números aleatorios, a partir de la media y desviación estándar calculadas y suponiendo una distribución normal; con el fin de confirmar la representatividad de la muestra, al comparar la media obtenida con los datos reales contra la generada al utilizar los números aleatorios.<sup>106</sup>

Estos cálculos estadísticos se representan también por medio de gráficos, que facilitan el análisis, al poder observar el comportamiento de la actividad en el tiempo. Dicha información gráfica se ubica en el apartado correspondiente a resultados; además, cada gráfico es precedido por las tablas con información estadística mencionadas anteriormente.

Es importante mencionar que como información adicional, en la sección de resultados, se muestra una serie de gráficos con información que maneja el Departamento de

---

<sup>106</sup> Salas, 2006

Planeamiento y Control, Planta de Producción de Concreto, la Oficina de Ingeniería y la Oficina Técnica del Sitio de Presa. Estos datos se etiquetan como indicadores de presa y permiten establecer comparaciones con lo que se obtiene al analizar el formulario F-08; además, contribuye con el estudio que se realiza en esta práctica.

Al igual que en la primera etapa, al medir la productividad, se concluyeron mediciones de producción para los procesos relacionados con el RCC. Esto permitió realizar el mismo estudio estadístico de la parte anterior, a una menor escala; pero se establecieron comparaciones entre los datos obtenidos.

Con respecto de los tiempos improductivos, el CAP definió previamente una lista con los factores más comunes que se presentan en la construcción del proyecto y afectan la ejecución. A pesar de que esta información se muestra en los formularios F-08 y F-01 no permite llegar a conclusiones importantes al respecto, puesto que como se mostrará en la sección de resultados, los tiempos improductivos se deben principalmente a la causa denominada como "Otros" y sólo se tiene para algunas capas de la presa. Por lo anterior, se optó por realizar gráficos que muestran la relación entre el tiempo total laborado y el tiempo no trabajado.

Esta información puede ser complementada con las observaciones de campo, realizadas para medir la productividad. Esto porque con las tres técnicas se elaboraron tablas donde se muestra el comportamiento de la actividad en intervalos de tiempo y se reflejan las causas que impiden a los trabajadores realizar su labor.

El balance de recursos se realizó de dos formas: en la primera se utilizaron los datos de los estudios estadísticos para elaborar un cuadro resumen, el cual muestra la cantidad de mano de obra y maquinaria promedio que se emplea en cada actividad (cuadros 14, 32 y 44 de la sección de resultados). El otro método consistió en la elaboración de un gráfico de barras promedio por actividad, el cual utiliza los datos que fueron recopilados al aplicar la técnica de medición de productividad llamada Crew Balance.

Para determinar la productividad se emplearon tres técnicas de medición, "Work Sampling", "Five Minute Rating" y "Crew Balance". Para realizar este estudio se efectuaron muestras cuatro días a la semana durante un mes, en un sitio que estuviera alejado de los

trabajadores con el fin de no influir en los resultados y la mayoría en el lapso comprendido entre las 06:45 y las 11:20.

Antes de aplicar cada una de las técnicas resulta necesario anotar el nombre del proyecto, la empresa que se encuentra a cargo, el nombre del ingeniero residente, la ubicación del proyecto, las condiciones del clima, la actividad seleccionada para la medición, la hora de inicio de las mediciones, la fecha y una breve descripción de la conformación de la cuadrilla de trabajo.

Para aplicar la técnica de "Work Sampling" se selecciona una actividad, se identifica a la cuadrilla y se anota la cantidad de trabajadores que labora y la cantidad de personas que no trabaja. Debe realizarse este ejercicio en repetidas ocasiones hasta obtener un mínimo de 385 observaciones.

A continuación se presenta la hoja de captura utilizada para ejecutar esta técnica de medición:

Observación	Cantidad de Trabajadores	Trabajadores Trabajando	Trabajadores No Trabajando	Observación
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				
8				
9				
10				
n				
<b>Total</b>				
<b>TOTAL DE MEDICIONES REALIZADAS:</b>				
<b>PRODUCTIVIDAD DEL PROCESO:</b>				

Figura 32. Hoja de Captura de la Técnica de Medición Work Sampling. Fuente: Leandro, 2009

Con respecto de la figura 32 se tiene que en la primera columna se anota el número de observación, en la siguiente el total de trabajadores de la cuadrilla, en la tercera columna la cantidad de trabajadores que está laborando y en la siguiente la cantidad que no lo hace. En la última columna, llamada también observación, se anota lo que la persona considere relevante y que contribuya con el análisis posterior. Luego se obtienen los totales de las columnas tres y cuatro; dichos valores se suman y luego se calcula el porcentaje correspondiente a trabajadores en labores. Este valor representa la productividad del proceso.

Con la técnica de “Five Minute Rating” se obtiene información más personalizada, pues se observa el trabajo de cada persona de la cuadrilla en el tiempo. En esta técnica las mediciones deben ejecutarse en intervalos iguales de tiempo; para este caso, la observación que conforma cada una de las muestras tiene una duración de un minuto. Se presenta, al igual que en la técnica anterior, la hoja empleada para medir la productividad en el campo:

Tiempo	Trabajador			Observación
	1	2	n	
<b>Total:</b>	<b>Productividad</b>			
<b>Productividad:</b>			<b>de Proceso:</b>	

Figura 33. Hoja de Captura de la Técnica Five Minute Rating. Fuente: Leandro, 2009

Con respecto de la figura 33 en la primera columna se indica la hora de observación, en las columnas identificadas como trabajador se anota cada uno de los trabajadores de la cuadrilla. En cada una de las filas correspondientes a los trabajadores, se debe indicar si éste trabaja o no, para facilitar los cálculos posteriores se puede indicar con el número 1 si lo hace y con 0 si no. Luego se suman todas las observaciones en las que cada persona trabaja y se obtiene el porcentaje de estas observaciones, ello representa la productividad de cada trabajador. El promedio de productividad de todos los trabajadores de la cuadrilla corresponde a la productividad del proceso. Al igual que en la anterior técnica, se puede indicar observaciones que contribuyan con el análisis del comportamiento del proceso.

Para aplicar la técnica “Crew Balance”, se observa en el tiempo a cada trabajador que conforma la cuadrilla. Es importante mencionar, que debido a la gran cantidad de situaciones que pueden presentarse en el momento de las mediciones, se decidió que las observaciones se clasificarían en cinco categorías: “trabajar”, “esperar”, “ausente”, “conversar” y “desplazar materiales”.

Al terminar la medición se realiza un recuento y clasificación de la información recopilada. Por último, dicha información cualitativa obtenida para cada trabajador se grafica, tal y como lo muestra el ejemplo de la figura 34.



Figura 34. Ejemplo del gráfico producto de la aplicación de la técnica Crew Balance. Fuente: elaboración propia

Los datos recopilados al aplicar las técnicas anteriores permitieron elaborar una serie de gráficos que contribuyen con el estudio de la productividad.

Es necesario mencionar que no se hicieron muestras de los siguientes procesos: extendido de pega y lechada, limpieza intermedia, encofrado y desencofrado de galerías, debido a que los mismos no se ejecutaron en el momento de las mediciones.

Al terminar con el procesamiento de los datos de cada etapa, se continúa con el análisis de éstos para detectar factores que pueden mejorarse y poder contribuir con la optimización de la ejecución de las actividades estudiadas. Las conclusiones y recomendaciones producto de este proyecto pueden ser empleadas por la oficina de Planeamiento y Control, en los trabajos restantes de la obra gris de la presa.

# Resultados

## Concreto convencional

A continuación se muestra una serie de cuadros y gráficos relacionados con los rendimientos de las actividades de presa asociadas al concreto convencional.

Cabe agregar que dichos resultados se basan en los datos que son capturados en el campo por los inspectores, mediante el formulario de captura F-01, entre el 7 de julio del 2009 y el 30 de enero del 2010.

Se debe mencionar que no se realizó gráfico en aquellos casos en que la muestra contara con menos de 3 datos.

CUADRO 8. RENDIMIENTO OBTENIDO PARA BLOQUES MASIVOS								
Proceso	Variable		Tamaño	Media	Mediana	Mínimo	Máximo	Varianza
	Nombre	Unidad	Muestra					
Colocación de Acero	Acero Colocado	kg/h	296	60,739	43,300	2,400	291,000	3.059,912
	Horas Hombre	hh <sup>107</sup> /kg	285	0,195	0,125	0,011	0,923	0,033
		h art. <sup>108</sup> /kg	276	0,099	0,072	0,011	0,392	0,007
		h ayud./kg	255	0,089	0,062	0,010	0,329	0,005
Alineamiento de Acero	Cantidad de Acero	kg/h	*	*	*	*	*	*
	Horas Hombre	hh/kg	*	*	*	*	*	*
Colocación de Formaleta	Área Encofrada	m <sup>2</sup> /h	121	5,483	3,509	0,467	17,993	20,875
	Horas Hombre	hh/m <sup>2</sup>	123	1,466	1,184	0,116	7,407	1,714
		h art./m <sup>2</sup>	119	0,769	0,585	0,107	2,963	0,349
		h ayud. <sup>109</sup> /m <sup>2</sup>	109	0,718	0,556	0,111	3,125	0,394
Desencofrado de Formaleta	Área Desencofrada	m <sup>2</sup> /h	64	7,115	6,042	1,188	17,783	19,688
	Horas Hombre	hh/m <sup>2</sup>	62	0,866	0,773	0,173	1,995	0,255
Colocación de concreto	Concreto Colocado	m <sup>3</sup> /h	53	28,070	26,710	10,286	59,471	144,452
	Horas Hombre	hh/m <sup>3</sup>	63	0,534	0,429	0,127	1,711	0,128
		h art./m <sup>3</sup>	64	0,247	0,167	0,019	0,859	0,041
		h ayud./m <sup>3</sup>	65	0,276	0,220	0,017	0,857	0,038

Fuente: datos del formulario F-01

<sup>107</sup> hh: Horas Hombre

<sup>108</sup> h art.: Horas Artesano

<sup>109</sup> h ayud.: Horas Ayudante

CUADRO 8(Cont.). RENDIMIENTO OBTENIDO PARA BLOQUES MASIVOS						
Proceso	Desviación	Error	Distribución	Simulación		
	Estándar	Estándar		Probabilidad	Media	Error
Colocación de Acero	55,316	3,215	Normal ( 60,739 ; 55,316 )	61,233	0,494	0,81%
	0,181	0,011				
	0,083	0,005				
	0,074	0,005				
Alineamiento de Acero	*	*	Normal ( * ; * )	*	*	*
	*	*				
Colocación de Formaleta	4,569	0,415	Normal ( 5,483 ; 4,569 )	5,457	-0,026	-0,47%
	1,309	0,118				
	0,591	0,054				
	0,627	0,060				
Desencofrado de Formaleta	4,437	0,555	Normal ( 7,115 ; 4,437 )	7,281	0,166	2,28%
	0,505	0,064				
Colocación de concreto	12,019	1,651	Normal ( 28,070 ; 12,019 )	27,553	-0,516	-1,87%
	0,357	0,045				
	0,204	0,025				
	0,195	0,024				

Fuente: datos del formulario F-01

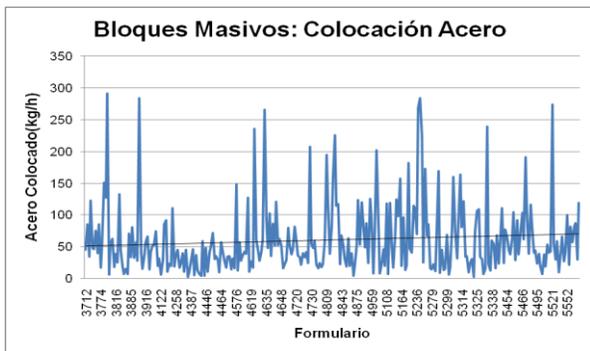


Figura 35. Gráfico de promedio de acero colocado en bloques masivos. Fuente: datos del formulario F-01

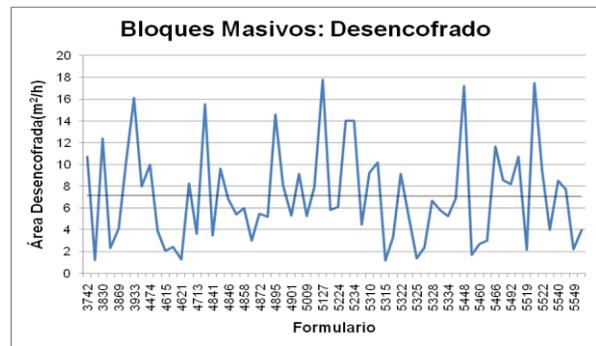


Figura 37. Gráfico de promedio de área desencofrada en bloques masivos. Fuente: datos del formulario F-01

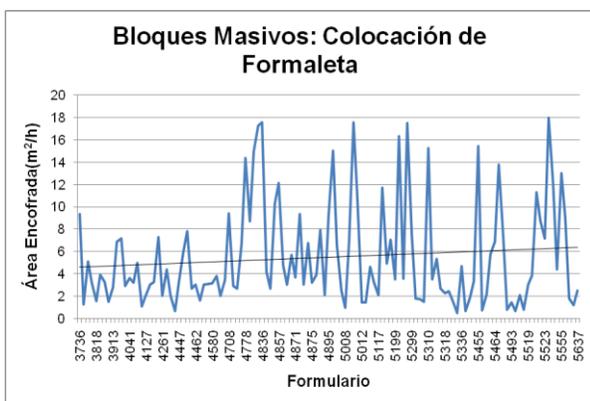


Figura 36. Gráfico de promedio de área encofrada en bloques masivos. Fuente: datos del formulario F-01

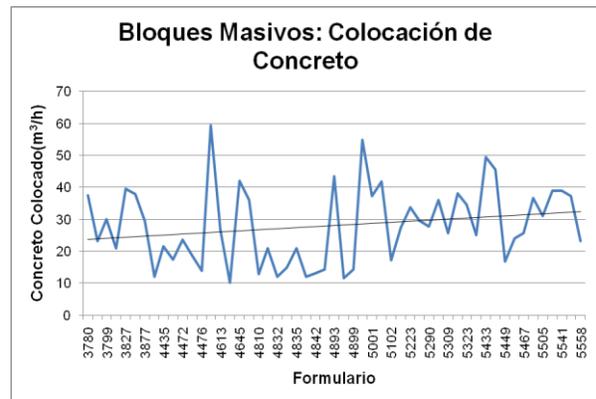


Figura 38. Gráfico de promedio de concreto colocado en bloques masivos. Fuente: datos del formulario F-01

CUADRO 9. RENDIMIENTO OBTENIDO PARA CIMENTOS								
Proceso	Variable		Tamaño	Media	Mediana	Mínimo	Máximo	Varianza
	Nombre	Unidad	Muestra					
Colocación de Acero	Acero Colocado	kg/h	19	67,642	68,700	8,200	182,400	2.288,274
	Horas Hombre	hh/kg	16	0,102	0,073	0,014	0,269	0,007
		h art./kg	16	0,064	0,029	0,011	0,191	0,004
		h ayud./kg	15	0,051	0,044	0,011	0,135	0,001
Alineamiento de Acero	Cantidad de Acero	kg/h	*	*	*	*	*	*
	Horas Hombre	hh/kg	*	*	*	*	*	*
Colocación de Formaleta	Área Encofrada	m <sup>2</sup> /h	9	6,689	5,022	1,900	14,880	24,363
	Horas Hombre	hh/m <sup>2</sup>	10	1,079	0,720	0,207	2,410	0,718
		h art./m <sup>2</sup>	10	0,608	0,360	0,103	1,446	0,275
		h ayud./m <sup>2</sup>	10	0,471	0,116	0,103	1,053	0,116
Desencofrado de Formaleta	Área Desencofrada	m <sup>2</sup> /h	3	11,190	11,720	8,669	13,180	5,299
	Horas Hombre	hh/m <sup>2</sup>	3	0,317	0,341	0,231	0,379	0,006
Colocación de concreto	Concreto Colocado	m <sup>3</sup> /h	16	9,207	6,250	1,333	26,250	61,351
	Horas Hombre	hh/m <sup>3</sup>	15	0,979	0,667	0,152	2,667	0,573
		h art./m <sup>3</sup>	14	0,471	0,359	0,144	1,067	0,103
		h ayud./m <sup>3</sup>	14	0,567	0,359	0,144	1,600	0,204

Fuente: datos del formulario F-01

CUADRO 9(Cont.). RENDIMIENTO OBTENIDO PARA CIMENTOS						
Proceso	Desviación	Error	Distribución	Simulación		
	Estándar	Estándar		Probabilidad	Media	Error
Colocación de Acero	47,836	10,974	Normal ( 67,642 ; 47,836 )	67,835	0,193	0,28%
	0,081	0,020				
	0,060	0,015				
	0,032	0,008				
Alineamiento de Acero	*	*	Normal ( * ; * )	*	*	*
	*	*				
Colocación de Formaleta	4,936	1,645	Normal ( 6,689 ; 4,936 )	6,649	-0,040	-0,60%
	0,847	0,268				
	0,525	0,166				
	0,341	0,108				
Desencofrado de Formaleta	2,302	1,329	Normal ( 11,190 ; 2,302 )	11,164	-0,026	-0,23%
	0,077	0,045				
Colocación de concreto	7,833	1,958	Normal ( 9,207 ; 7,833 )	9,380	0,172	1,84%
	0,757	0,195				
	0,321	0,086				
	0,451	0,121				

Fuente: datos del formulario F-01

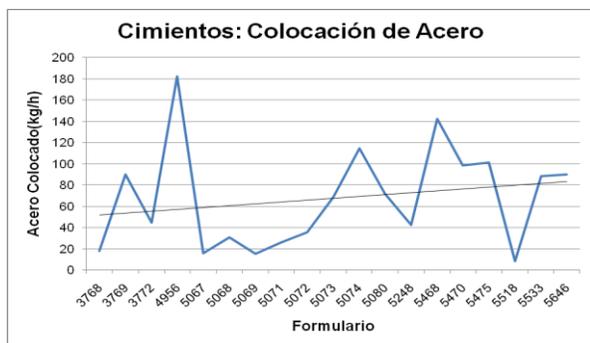


Figura 39. Gráfico de promedio de acero colocado en cimientos. Fuente: datos del formulario F-01



Figura 41. Gráfico de promedio de área desencofrada en cimientos. Fuente: datos del formulario F-01

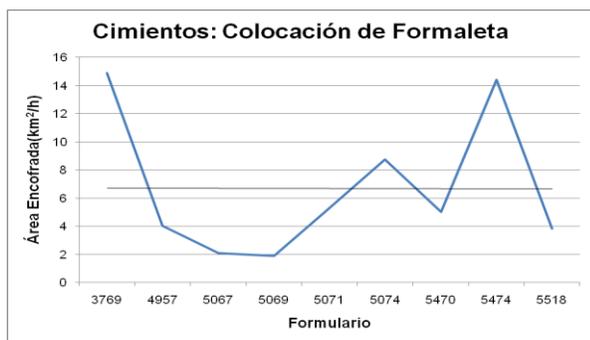


Figura 40. Gráfico de promedio de área encofrada en cimientos. Fuente: datos del formulario F-01

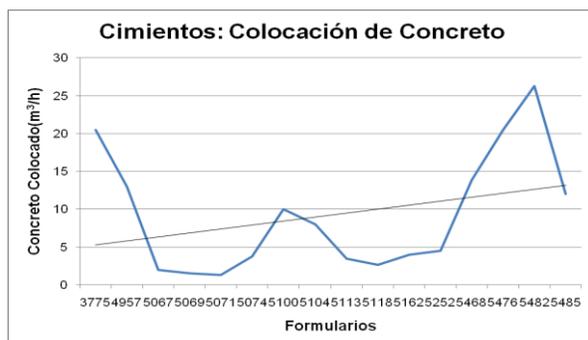


Figura 42. Gráfico de promedio de concreto colocado en cimientos. Fuente: datos del formulario F-01

### CUADRO 10. RENDIMIENTO OBTENIDO PARA LOSAS AÉREAS

Proceso	Variable		Tamaño	Media	Mediana	Mínimo	Máximo	Varianza
	Nombre	Unidad	Muestra					
Colocación de Acero	Acero Colocado	kg/h	8	297,981	278,703	188,463	419,447	9.800,170
	Horas Hombre	hh/kg	8	0,029	0,027	0,014	0,061	0,000
		h art./kg	6	0,025	0,016	0,012	0,059	0,000
		h ayud./kg	8	0,030	0,019	0,012	0,068	0,000
Alineamiento de Acero	Cantidad de Acero	kg/h	*	*	*	*	*	*
	Horas Hombre	hh/kg	*	*	*	*	*	*
Colocación de Formaleta	Área Encofrada	m <sup>2</sup> /h	3	5,526	4,500	2,328	9,750	14,560
	Horas Hombre	hh/m <sup>2</sup>	3	0,626	0,615	0,374	0,889	0,066
		h art./m <sup>2</sup>	3	0,212	0,222	0,107	0,308	0,010
		h ayud./m <sup>2</sup>	3	0,414	0,308	0,267	0,667	0,048
Desencofrado de Formaleta	Área Desencofrada	m <sup>2</sup> /h	3	10,839	10,286	4,538	17,695	43,508
	Horas Hombre	hh/m <sup>2</sup>	2	0,315	0,315	0,292	0,339	0,001
Colocación de concreto	Concreto Colocado	m <sup>3</sup> /h	3	11,396	10,286	5,727	18,176	39,671
	Horas Hombre	hh/m <sup>3</sup>	3	0,866	0,715	0,486	1,397	0,224
		h art./m <sup>3</sup>	3	0,319	0,349	0,220	0,389	0,008
		h ayud./m <sup>3</sup>	3	0,547	0,495	0,097	1,048	0,228

Fuente: datos del formulario F-01

CUADRO 10(Cont.). RENDIMIENTO OBTENIDO PARA LOSAS AÉREAS						
Proceso	Desviación Estándar	Error Estándar	Distribución Probabilidad	Simulación		
				Media	Error	% Error
Colocación de Acero	98,996	35,000	Normal ( 297,981 ; 98,996 )	302,911	4,930	1,63
	0,015	0,005				
	0,018	0,007				
	0,022	0,008				
Alineamiento de Acero	*	*	Normal ( * ; * )	*	*	*
	*	*				
Colocación de Formaleta	3,816	2,203	Normal ( 5,526 ; 3,816 )	5,690	0,164	2,88
	0,257	0,149				
	0,101	0,058				
	0,220	0,127				
Desencofrado de Formaleta	6,596	3,808	Normal ( 10,839 ; 6,596 )	11,164	0,324	2,91
	0,034	0,024				
Colocación de concreto	6,298	3,636	Normal ( 11,396 ; 6,298 )	11,082	-0,315	-2,84
	0,474	0,274				
	0,088	0,051				
	0,477	0,276				

Fuente: datos del formulario F-01

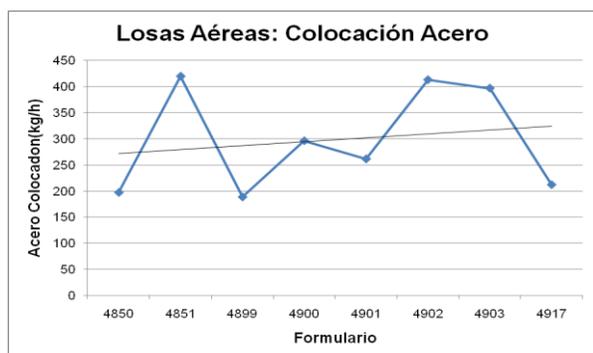


Figura 43. Gráfico de promedio de acero colocado en lasas aéreas. Fuente: datos del formulario F-01

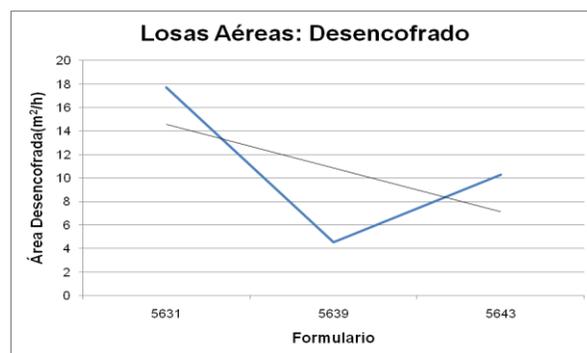


Figura 45. Gráfico promedio de área desencofrada en lasas aéreas. Fuente: datos del formulario F-01

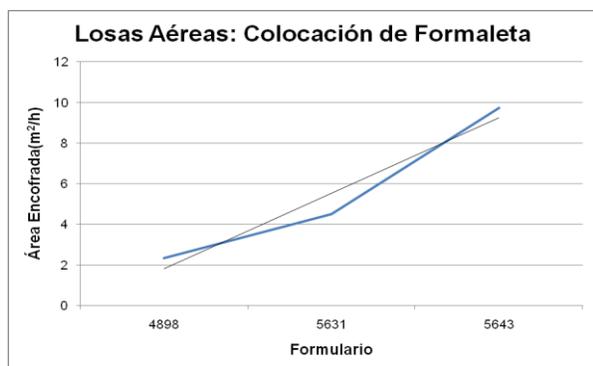


Figura 44. Gráfico de promedio de área encofrada en lasas aéreas. Fuente: datos del formulario F-01

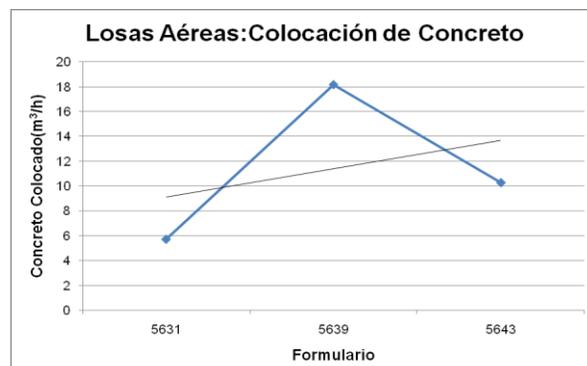


Figura 46. Gráfico de promedio de concreto colocado en lasas aéreas. Fuente: datos del formulario F-01

CUADRO 11. RENDIMIENTO OBTENIDO PARA LOSAS CONTRAPISO								
Proceso	Variable		Tamaño	Media	Mediana	Mínimo	Máximo	Varianza
	Nombre	Unidad	Muestra					
Colocación de Acero	Acero Colocado	kg/h	13	113,719	82,678	34,006	215,449	6.394,129
	Horas Hombre	hh/kg	6	0,071	0,074	0,028	0,119	0,001
		h art./kg	6	0,039	0,043	0,014	0,060	0,000
		h ayud./kg	5	0,038	0,051	0,014	0,060	0,001
Alineamiento de Acero	Cantidad de Acero	kg/h	*	*	*	*	*	*
	Horas Hombre	hh/kg	*	*	*	*	*	*
Colocación de Formaleta	Área Encofrada	m <sup>2</sup> /h	*	*	*	*	*	*
	Horas Hombre	hh/m <sup>2</sup>	*	*	*	*	*	*
		h art./m <sup>2</sup>	*	*	*	*	*	*
		h ayud./m <sup>2</sup>	*	*	*	*	*	*
Desencofrado de Formaleta	Área Desencofrada	m <sup>2</sup> /h	1	6,800	6,800	6,800	6,800	*
	Horas Hombre	hh/m <sup>2</sup>	1	0,735	0,735	0,735	0,735	*
Colocación de concreto	Concreto Colocado	m <sup>3</sup> /h	8	21,533	19,403	12,840	31,500	51,720
	Horas Hombre	hh/m <sup>3</sup>	9	0,445	0,375	0,209	0,825	0,051
		h art./m <sup>3</sup>	10	0,307	0,316	0,105	0,623	0,032
		h ayud./m <sup>3</sup>	7	0,221	0,137	0,102	0,444	0,019

Fuente: datos del formulario F-01

CUADRO 11(Cont.). RENDIMIENTO OBTENIDO PARA LOSAS CONTRAPISO						
Proceso	Desviación Estándar	Error Estándar	Distribución	Simulación		
			Probabilidad	Media	Error	% Error
Colocación de Acero	79,963	32,645	Normal ( 113,719 ; 79,963 )	114,299	0,580	0,51%
	0,039	0,016				
	0,021	0,009				
	0,022	0,010				
Alineamiento de Acero	*	*	Normal ( * ; * )	*	*	*
	*	*				
Colocación de Formaleta	*	*	Normal ( * ; * )	*	*	*
	*	*				
	*	*				
	*	*				
Desencofrado de Formaleta	*	*	Normal ( 6,800 ; * )	*	*	*
	*	*				
Colocación de concreto	7,192	2,543	Normal ( 21,533 ; 7,192 )	21,750	0,217	1,00%
	0,226	0,075				
	0,179	0,057				
	0,137	0,052				

Fuente: datos del formulario F-01

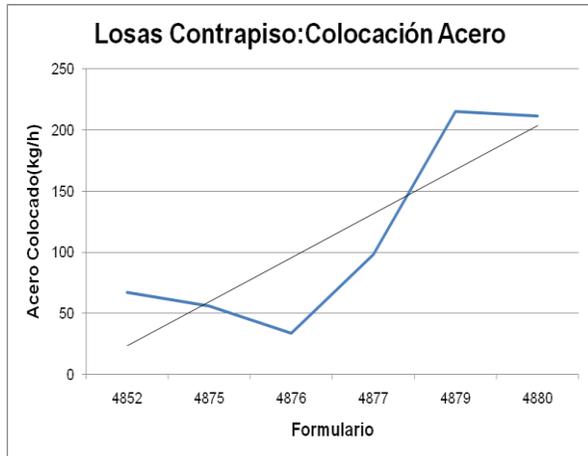


Figura 47. Gráfico de promedio de acero colocado en lasas contrapiso. Fuente: datos del formulario F-01

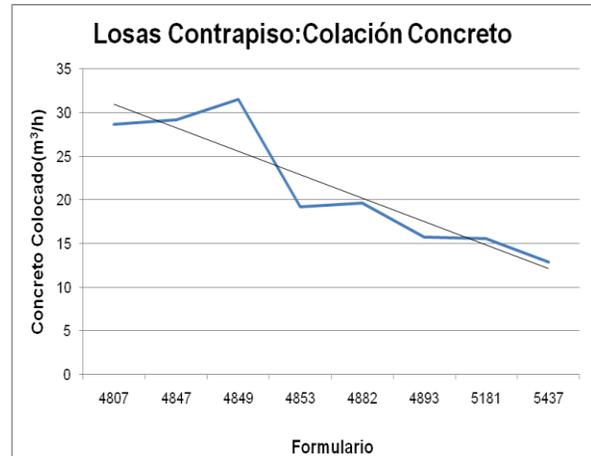


Figura 48. Gráfico de promedio de concreto colocado en lasas contrapiso. Fuente: datos del formulario F-01

CUADRO 12. RENDIMIENTO OBTENIDO PARA MUROS SIN RELLENO								
Proceso	Variable		Tamaño	Media	Mediana	Mínimo	Máximo	Varianza
	Nombre	Unidad	Muestra					
Colocación de Acero	Acero Colocado	kg/h	64	66,459	58,109	9,681	173,303	1.872,928
	Horas Hombre	hh/kg	61	0,157	0,128	0,025	0,589	0,014
		h art./kg	62	0,089	0,066	0,013	0,351	0,005
		h ayud./kg	60	0,089	0,065	0,011	0,358	0,006
Alineamiento de Acero	Cantidad de Acero	kg/h	*	*	*	*	*	*
	Horas Hombre	hh/kg	*	*	*	*	*	*
Colocación de Formaleta	Área Encofrada	m <sup>2</sup> /h	16	5,754	5,105	2,065	12,273	9,375
	Horas Hombre	hh/m <sup>2</sup>	12	1,153	0,921	0,369	2,632	0,513
		h art./m <sup>2</sup>	12	0,523	0,374	0,185	1,053	0,096
		h ayud./m <sup>2</sup>	13	0,715	0,558	0,185	1,738	0,262
Desencofrado de Formaleta	Área Desencofrada	m <sup>2</sup> /h	5	7,661	6,000	5,180	11,964	9,058
	Horas Hombre	hh/m <sup>2</sup>	6	0,496	0,334	0,122	0,965	0,124
Colocación de concreto	Concreto Colocado	m <sup>3</sup> /h	20	14,028	11,600	4,667	36,000	60,075
	Horas Hombre	hh/m <sup>3</sup>	12	0,600	0,533	0,208	1,286	0,069
		h art./m <sup>3</sup>	17	0,355	0,303	0,139	0,857	0,033
		h ayud./m <sup>3</sup>	19	0,254	0,222	0,056	0,606	0,026

Fuente: datos del formulario F-01

CUADRO 12(Cont.). RENDIMIENTO OBTENIDO PARA MUROS SIN RELLENO						
Proceso	Desviación Estándar	Error Estándar	Distribución Probabilidad	Simulación		
				Media	Error	% Error
Colocación de Acero	43,277	5,410	Normal ( 66,459 ; 43,277 )	65,074	-1,385	-2,13%
	0,119	0,015				
	0,073	0,009				
	0,080	0,010				
Alineamiento de Acero	*	*	Normal ( * ; * )	*	*	*
	*	*				
Colocación de Formaleta	3,062	0,765	Normal ( 5,754 ; 3,062 )	5,732	-0,022	-0,39%
	0,716	0,207				
	0,310	0,089				
	0,512	0,142				
Desencofrado de Formaleta	3,010	1,346	Normal ( 7,661 ; 3,010 )	7,605	-0,056	-0,73%
	0,352	0,144				
Colocación de concreto	7,751	1,733	Normal ( 14,028 ; 7,751 )	14,271	0,243	1,70%
	0,263	0,062				
	0,182	0,044				
	0,160	0,037				

Fuente: datos del formulario F-01

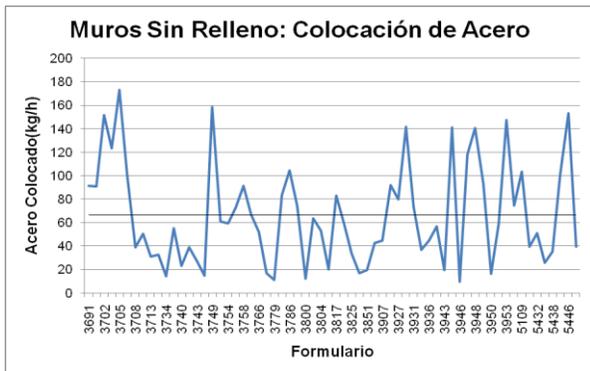


Figura 49. Gráfico de promedio de acero colocado en muros sin relleno. Fuente: datos del formulario F-01

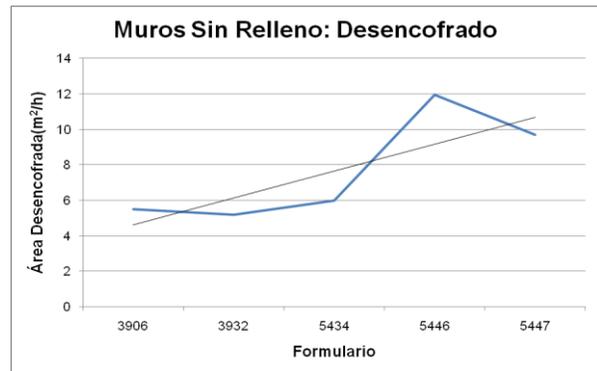


Figura 51. Gráfico de promedio de área desencofrada en muros sin relleno. Fuente: datos del formulario F-01

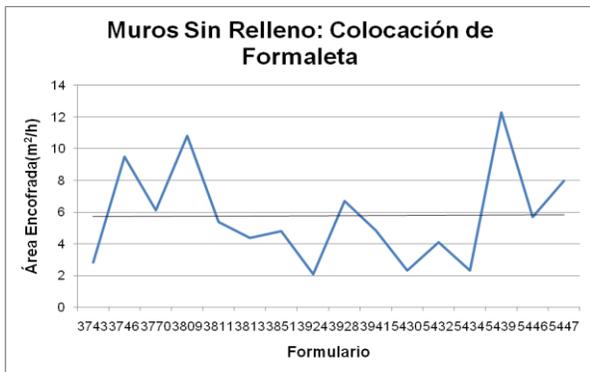


Figura 50. Gráfico de promedio de área encofrada en muros sin relleno. Fuente: datos del formulario F-01

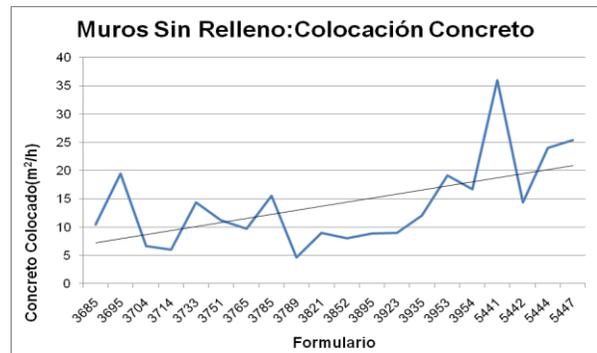


Figura 52. Gráfico de promedio de concreto colocado en muros sin relleno. Fuente: datos del formulario F-01

CUADRO 13. RENDIMIENTO OBTENIDO PARA SUSTITUCIÓN								
Proceso	Variable		Tamaño	Media	Mediana	Mínimo	Máximo	Varianza
	Nombre	Unidad	Muestra					
Colocación de Acero	Acero Colocado	kg/h	1	19,200	19,200	19,200	19,200	*
	Horas Hombre	hh/kg	1	0,729	0,729	0,729	0,729	*
		h art./kg	1	0,260	0,260	0,260	0,260	*
		h ayud./kg	1	0,469	0,469	0,469	0,469	*
Alineamiento de Acero	Cantidad de Acero	kg/h	*	*	*	*	*	*
	Horas Hombre	hh/kg	*	*	*	*	*	*
Colocación de Formaleta	Área Encofrada	m <sup>2</sup> /h	1	19,200	19,200	19,200	19,200	*
	Horas Hombre	hh/m <sup>2</sup>	1	0,104	0,104	0,104	0,104	*
		h art./m <sup>2</sup>	1	0,052	0,052	0,052	0,052	*
		h ayud./m <sup>2</sup>	1	0,052	0,052	0,052	0,052	*
Desencofrado de Formaleta	Área Desencofrada	m <sup>2</sup> /h	6	15,289	12,800	8,533	25,600	37,167
	Horas Hombre	hh/m <sup>2</sup>	4	0,146	0,156	0,117	0,156	0,000
Colocación de concreto	Concreto Colocado	m <sup>3</sup> /h	151	24,205	24,000	1,333	72,000	148,403
	Horas Hombre	hh/m <sup>3</sup>	153	0,219	0,150	0,011	1,333	0,039
		h art./m <sup>3</sup>	126	0,129	0,100	0,011	0,708	0,013
		h ayud./m <sup>3</sup>	114	0,141	0,098	0,014	0,786	0,016

Fuente: datos del formulario F-01

CUADRO 13(Cont.). RENDIMIENTO OBTENIDO PARA SUSTITUCIÓN						
Proceso	Desviación Estándar	Error Estándar	Distribución Probabilidad	Simulación		
				Media	Error	% Error
Colocación de Acero	*	*	Normal ( 19,200 ; * )	*	*	*
	*	*				
	*	*				
	*	*				
Alineamiento de Acero	*	*	Normal ( * ; * )	*	*	*
	*	*				
Colocación de Formaleta	*	*	Normal ( 19,200 ; * )	*	*	*
	*	*				
	*	*				
	*	*				
Desencofrado de Formaleta	6,097	2,489	Normal ( 15,289 ; 6,097 )	15,584	0,295	1,90%
	0,020	0,010				
Colocación de concreto	12,182	0,991	Normal ( 24,205 ; 12,182 )	23,782	-0,423	-1,78%
	0,197	0,016				
	0,114	0,010				
	0,126	0,012				

Fuente: datos del formulario F-01

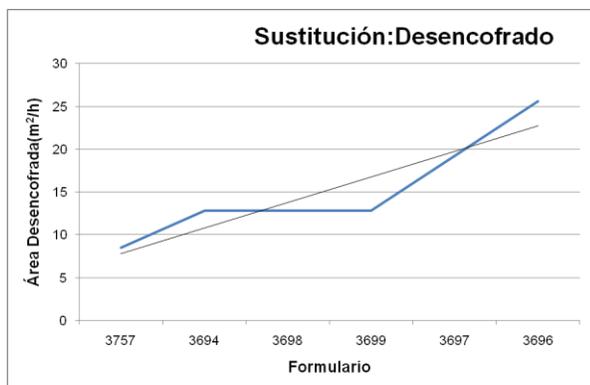


Figura 53. Gráfico de promedio de área desencofrada en sustitución. Fuente: datos del formulario F-01

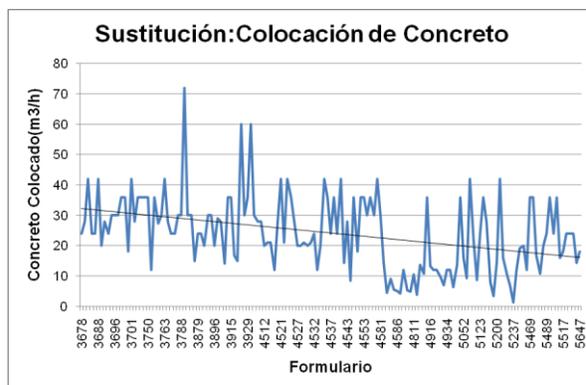


Figura 54. Gráfico de promedio de concreto colocado en sustitución. Fuente: datos del formulario F-01

CUADRO 14. RESUMEN DE RENDIMIENTOS EN CONCRETO CONVENCIONAL							
Operación	Descripción de Proceso	Unidad	Producción Promedio	Mano de Obra			Equipo
				Artesanos	Ayudantes	Personas	
Bloques Masivos	Colocación Acero	kg/h	61,00	4	4	*	2
	Alineamiento Acero	kg/h	*	*	*	*	
	Colocación Formaleta	m <sup>2</sup> /h	5,00	3	3	*	
	Desencofrado	m <sup>2</sup> /h	7,00	*	*	6	
	Colocación Concreto	m <sup>3</sup> /h	28	6	7	*	
Cimientos	Colocación Acero	kg/h	68,00	3	4	*	2
	Alineamiento Acero	kg/h	*	*	*	*	
	Colocación Formaleta	m <sup>2</sup> /h	7,00	3	3	*	
	Desencofrado	m <sup>2</sup> /h	11,00	*	*	4	
	Colocación Concreto	m <sup>3</sup> /h	9,00	4	4	*	
Losas Aéreas	Colocación Acero	kg/h	298,00	4	4	*	0
	Alineamiento Acero	kg/h	*	*	*	*	
	Colocación Formaleta	m <sup>2</sup> /h	6,00	3	3	*	
	Desencofrado	m <sup>2</sup> /h	11,00	*	*	5	
	Colocación Concreto	m <sup>3</sup> /h	11,00	4	6	*	
Losas Contrapiso	Colocación Acero	kg/h	114,00	4	4	*	2
	Alineamiento Acero	kg/h	*	*	*	*	
	Colocación Formaleta	m <sup>2</sup> /h	*	*	*	*	
	Desencofrado	m <sup>2</sup> /h	7,00	*	*	*	
	Colocación Concreto	m <sup>3</sup> /h	22,00	5	7	*	
Muros Sin Relleno	Colocación Acero	kg/h	66,00	5	4	*	2
	Alineamiento Acero	kg/h	*	*	*	*	
	Colocación Formaleta	m <sup>2</sup> /h	6,00	4	5	*	
	Desencofrado	m <sup>2</sup> /h	8,00	*	*	4	
	Colocación Concreto	m <sup>3</sup> /h	14,00	4	3	*	
Sustitución	Colocación Acero	kg/h	19,00	5	9	*	2
	Alineamiento Acero	kg/h	*	*	*	*	
	Colocación Formaleta	m <sup>2</sup> /h	19,00	1	1	*	
	Desencofrado	m <sup>2</sup> /h	15,00	*	*	4	
	Colocación Concreto	m <sup>3</sup> /h	24,00	2	2	*	

Fuente: datos del formulario F-01

# Concreto compactado con rodillo

A continuación se muestra una serie de cuadros y gráficos relacionados con los rendimientos de las actividades asociadas al concreto compactado con rodillo.

Cabe agregar que dichos resultados se basan en los datos que son capturados en el campo por los inspectores, mediante el formulario de captura F-08, entre el 29 de julio del 2009 y el 23 de marzo del 2010.

Se debe mencionar que no se realizó gráfico en aquellos casos en que la muestra contara con menos de 3 datos.

<b>CUADRO 15. RENDIMIENTO OBTENIDO EN TRATAMIENTO DE JUNTAS: LIMPIEZA SUPERFICIAL</b>							
<b>Variable</b>		<b>Tamaño</b>	<b>Media</b>	<b>Mediana</b>	<b>Mínimo</b>	<b>Máximo</b>	<b>Varianza</b>
<b>Descripción</b>	<b>Unidad</b>	<b>Muestra</b>					
<b>Método Utilizado: Aspiración</b>							
Área Tratada	m <sup>2</sup> /h	370	512,637	492,905	192,308	1.016,707	37.691,857
Horas Equipo/m <sup>2</sup>	he/m <sup>2</sup>	321	0,003	0,003	0,001	0,010	0,000
HH Artesano/m <sup>2</sup>	hh/m <sup>2</sup>	29	0,005	0,003	0,002	0,010	0,000
HH Ayudante/m <sup>2</sup>	hh/m <sup>2</sup>	133	0,010	0,010	0,003	0,018	0,000
HH Peón/m <sup>2</sup>	hh/m <sup>2</sup>	276	0,022	0,019	0,003	0,054	0,000
<b>Método Utilizado: Soplado</b>							
Área Tratada	m <sup>2</sup> /h	95	513,801	494,545	200,000	1.000,000	33.540,375
Horas Equipo/m <sup>2</sup>	he/m <sup>2</sup>	10	0,011	0,010	0,001	0,037	0,000
HH Ayudante/m <sup>2</sup>	hh/m <sup>2</sup>	42	0,014	0,014	0,002	0,032	0,000
HH Peón/m <sup>2</sup>	hh/m <sup>2</sup>	106	0,026	0,023	0,003	0,073	0,000
<b>Ambos Métodos Utilizados</b>							
Área Tratada	m <sup>2</sup> /h	7	265,144	255,924	41,667	413,973	17.027,462
Horas Equipo/m <sup>2</sup>	he/m <sup>2</sup>	6	0,008	0,005	0,003	0,024	0,000
HH Artesano/m <sup>2</sup>	hh/m <sup>2</sup>	1	0,014	0,014	0,014	0,014	*
HH Ayudante/m <sup>2</sup>	hh/m <sup>2</sup>	6	0,025	0,025	0,015	0,036	0,000
HH Peón/m <sup>2</sup>	hh/m <sup>2</sup>	7	0,059	0,027	0,026	0,192	0,004

Fuente: datos del formulario F-08

CUADRO 15(Cont.). RENDIMIENTO OBTENIDO EN TRATAMIENTO DE JUNTAS: LIMPIEZA SUPERFICIAL						
Proceso	Desviación	Error	Distribución	Simulación		
	Estándar	Estándar	Probabilidad	Media	Error	%Error
Limpieza Superficial	<b>Método Utilizado: Aspiración</b>					
	194,144	10,093	Normal ( 512,637 , 194,144 )	506,307	6,330	1,23%
	0,002	0,000				
	0,003	0,000				
	0,004	0,000				
	0,013	0,001				
	<b>Método Utilizado: Soplado</b>					
	183,140	18,790	Normal ( 513,801 , 183,140 )	510,005	3,796	0,74%
	0,010	0,003				
	0,007	0,001				
	0,015	0,001				
	<b>Ambos Métodos Utilizados</b>					
	130,489	49,320	Normal ( 265,144 , 130,489 )	267,047	-1,903	-0,72%
	0,008	0,003				
	*	*				
0,007	0,003					
0,060	0,023					

Fuente: datos del formulario F-08

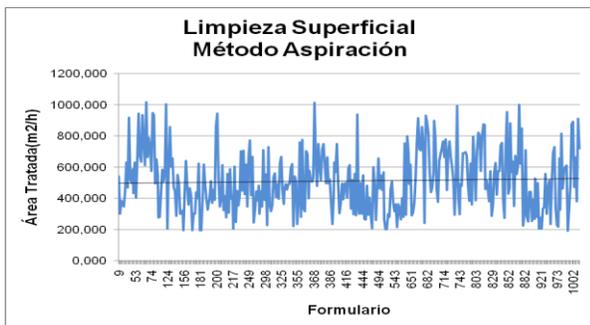


Figura 55. Gráfico de promedio de área tratada en limpieza superficial con el método aspiración. Fuente: datos del formulario F-08

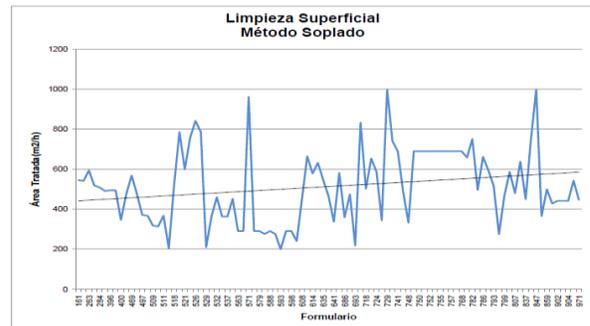


Figura 57. Gráfico de promedio de área tratada en limpieza superficial con el método soplado. Fuente: datos del formulario F-08

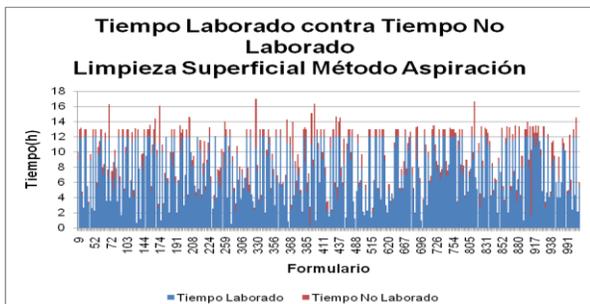


Figura 56. Gráfico de tiempo laborado contra tiempo no laborado en limpieza superficial con el método de aspiración. Fuente: datos del formulario F-08

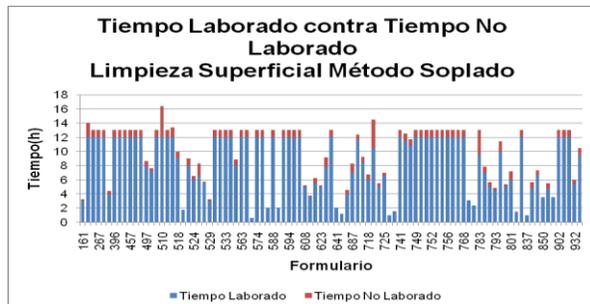


Figura 58. Gráfico de tiempo laborado contra tiempo no laborado en limpieza superficial con el método de soplado. Fuente: datos del formulario F-08

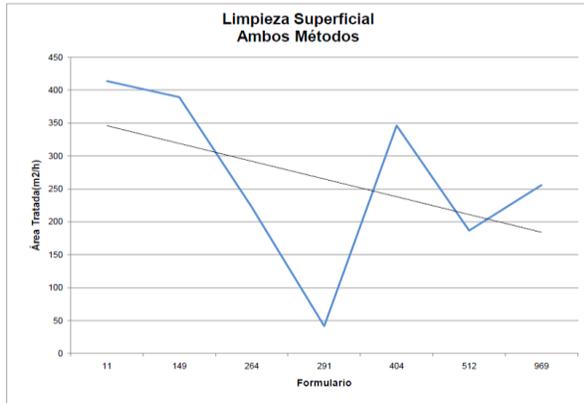


Figura 59. Gráfico de promedio de área tratada en limpieza superficial con ambos métodos. Fuente: datos del formulario F-08

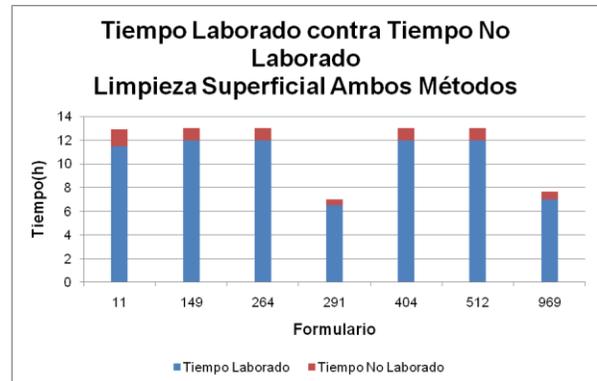


Figura 60. Gráfico de tiempo laborado contra tiempo no laborado en limpieza superficial con ambos métodos. Fuente: datos del formulario F-08

### CUADRO 16. RENDIMIENTO OBTENIDO EN TRATAMIENTO DE JUNTAS: LIMPIEZA INTERMEDIA

Variable		Tamaño	Media	Mediana	Mínimo	Máximo	Varianza
Descripción	Unidad	Muestra					
<b>Método Utilizado: Cepillado/Fibra Metálica</b>							
Área Tratada	m <sup>2</sup> /h	9	714,799	627,778	34,562	1.349,398	225.186,283
Horas Equipo/m <sup>2</sup>	he/m <sup>2</sup>	7	0,008	0,002	0,001	0,029	0,000
HH Artesano/m <sup>2</sup>	hh/m <sup>2</sup>	2	0,016	0,016	0,002	0,029	0,000
HH Ayudante/m <sup>2</sup>	hh/m <sup>2</sup>	8	0,012	0,008	0,001	0,029	0,000
HH Peón/m <sup>2</sup>	hh/m <sup>2</sup>	9	714,799	627,778	34,562	1.349,398	225.186,283

Fuente: datos del formulario F-08

### CUADRO 16(Cont.). RENDIMIENTO OBTENIDO EN TRATAMIENTO DE JUNTAS: LIMPIEZA INTERMEDIA

Desviación Estándar	Error Estándar	Distribución Probabilidad		Simulación			
		Media	Error	%Error			
<b>Método Utilizado: Cepillado/Fibra Metálica</b>							
474,538	158,179	Normal (	714,799	, 474,538 )	704,966	9,833	1,38%
0,011	0,004						
0,019	0,013						
0,012	0,004						

Fuente: datos del formulario F-08

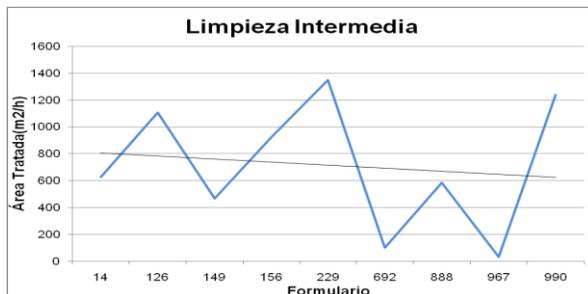


Figura 61. Gráfico de promedio de área tratada en limpieza intermedia con el método de cepillado/ fibra metálica. Fuente: datos del formulario F-08

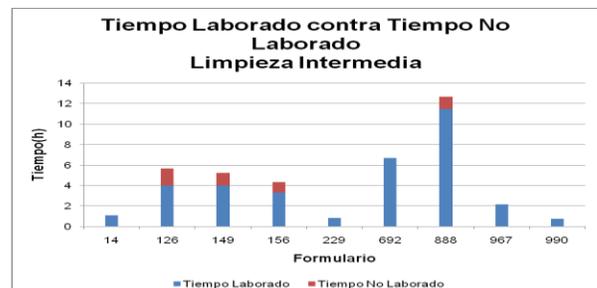


Figura 62. Gráfico de tiempo laborado contra tiempo no laborado en limpieza intermedia con el método de cepillado/ fibra metálica. Fuente: datos del formulario F-08

<b>CUADRO 17. RENDIMIENTO OBTENIDO EN TRATAMIENTO DE JUNTAS: LIMPIEZA PROFUNDA</b>							
Variable		Tamaño	Media	Mediana	Mínimo	Máximo	Varianza
Descripción	Unidad	Muestra					
<b>Método Utilizado: Lavado Baja Presión/Concreto Fresco</b>							
Área Tratada	m <sup>2</sup> /h	17	271,005	229,167	85,236	955,000	40.317,630
Horas Equipo/m <sup>2</sup>	he/m <sup>2</sup>	9	0,008	0,006	0,002	0,020	0,000
HH Artesano/m <sup>2</sup>	hh/m <sup>2</sup>	3	0,008	0,004	0,004	0,017	0,000
HH Ayudante/m <sup>2</sup>	hh/m <sup>2</sup>	10	0,020	0,012	0,004	0,070	0,000
HH Peón/m <sup>2</sup>	hh/m <sup>2</sup>	16	0,033	0,016	0,004	0,135	0,001
<b>Método Utilizado: Lavado Alta Presión/Concreto Endurecido</b>							
Área Tratada	m <sup>2</sup> /h	125	331,518	304,545	115,211	1.062,222	24.898,822
Horas Equipo/m <sup>2</sup>	he/m <sup>2</sup>	74	0,014	0,004	0,001	0,107	0,000
HH Artesano/m <sup>2</sup>	hh/m <sup>2</sup>	12	0,045	0,018	0,003	0,213	0,005
HH Ayudante/m <sup>2</sup>	hh/m <sup>2</sup>	67	0,020	0,018	0,003	0,071	0,000
HH Peón/m <sup>2</sup>	hh/m <sup>2</sup>	132	0,025	0,020	0,004	0,097	0,000
<b>Ambos Métodos Utilizados</b>							
Área Tratada	m <sup>2</sup> /h	6	368,335	307,727	140,909	750,909	52.760,600
Horas Equipo/m <sup>2</sup>	he/m <sup>2</sup>	3	0,003	0,002	0,001	0,007	0,000
HH Ayudante/m <sup>2</sup>	hh/m <sup>2</sup>	3	0,048	0,042	0,024	0,078	0,001
HH Peón/m <sup>2</sup>	hh/m <sup>2</sup>	6	0,046	0,040	0,013	0,099	0,001

Fuente: datos del formulario F-08

<b>CUADRO 17(Cont.). RENDIMIENTO OBTENIDO EN TRATAMIENTO DE JUNTAS: LIMPIEZA PROFUNDA</b>						
Desviación	Error	Distribución		Simulación		
Estandar	Estandar	Probabilidad		Media	Error	%Error
<b>Método Utilizado: Lavado Baja Presión/Concreto Fresco</b>						
200,793	48,699	Normal ( 271,005 , 200,793 )		261,338	9,667	3,57%
0,006	0,002					
0,007	0,004					
0,020	0,006					
0,037	0,009					
<b>Método Utilizado: Lavado Alta Presión/Concreto Endurecido</b>						
157,794	14,114	Normal ( 331,518 , 157,794 )		329,416	2,102	0,63%
0,022	0,003					
0,067	0,019					
0,013	0,002					
0,018	0,002					
<b>Ambos Métodos Utilizados</b>						
229,697	93,773	Normal ( 368,335 , 229,697 )		367,100	1,235	0,34%
0,003	0,002					
0,028	0,016					
0,030	0,012					

Fuente: datos del formulario F-08

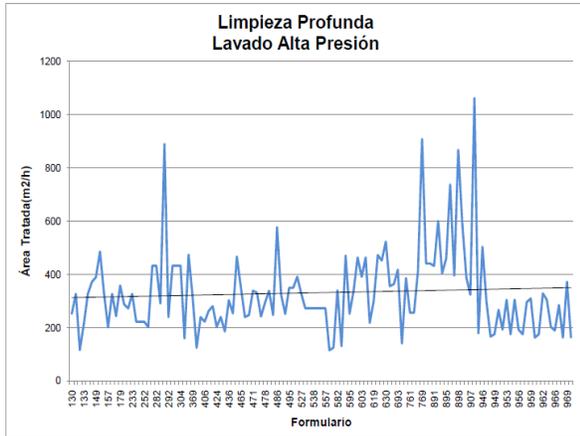


Figura 63. Gráfico de promedio de área tratada en limpieza profunda con lavado de alta presión. Fuente: datos del formulario F-08

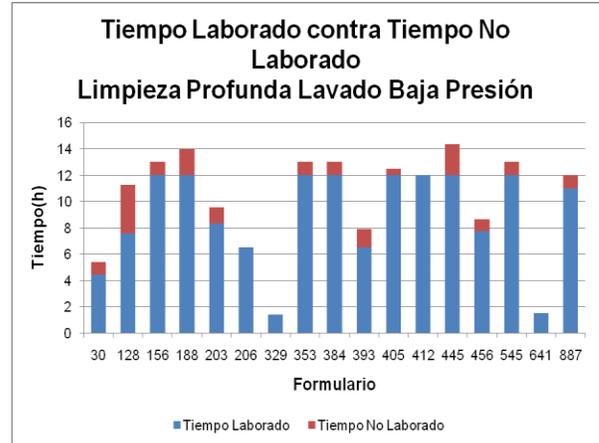


Figura 66. Gráfico de tiempo laborado contra tiempo no laborado en limpieza profunda con lavado de baja presión. Fuente: datos del formulario F-08

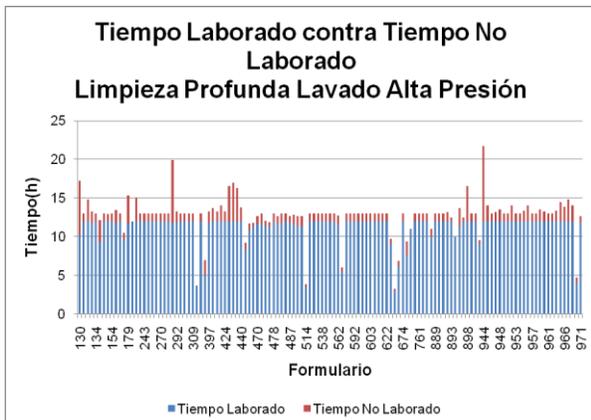


Figura 64. Gráfico de tiempo laborado contra tiempo no laborado en limpieza profunda con lavado de alta presión. Fuente: datos del formulario F-08

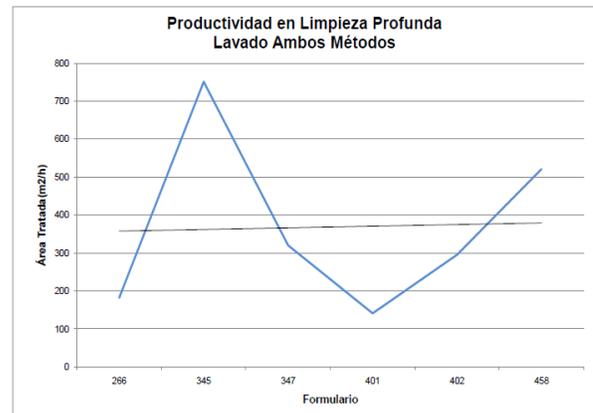


Figura 67. Gráfico de promedio de área tratada en limpieza profunda con ambos métodos. Fuente: datos del formulario F-08

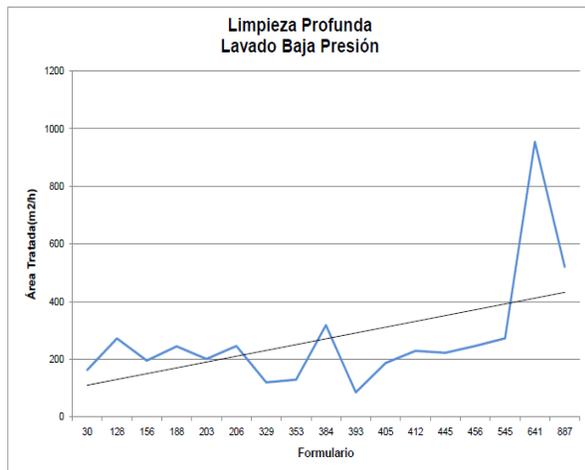


Figura 65. Gráfico de promedio de área tratada en limpieza profunda con lavado de baja presión. Fuente: datos del formulario F-08

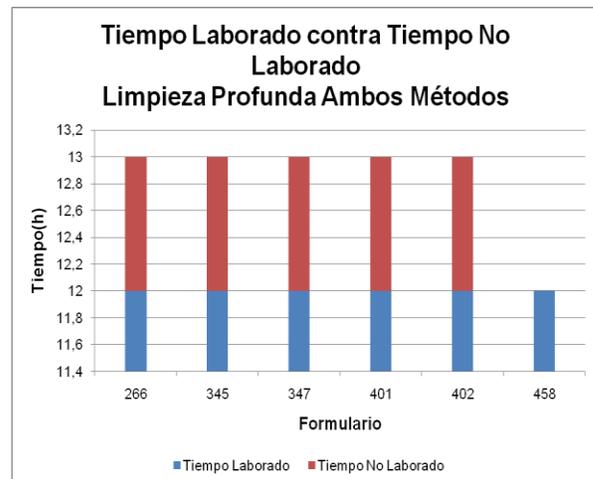


Figura 68. Gráfico de tiempo laborado contra tiempo no laborado en limpieza profunda con ambos métodos. Fuente: datos del formulario F-08

**CUADRO 18. RENDIMIENTO OBTENIDO EN TRATAMIENTO DE JUNTAS:  
EXTENDIDO DE PEGA**

Variable		Tamaño	Media	Mediana	Mínimo	Máximo	Varianza
Descripción	Unidad	Muestra					
Área Tratada	m <sup>2</sup> /h	42	467,439	432,573	124,138	1.061,905	67.712,902
Mortero Colocado	m <sup>3</sup> /h	51	7,042	5,696	1,067	17,667	17,519
Horas Equipo/m <sup>2</sup>	he/m <sup>2</sup>	55	0,009	0,005	0,001	0,050	0,000
HH Artesano/m <sup>2</sup>	hh/m <sup>2</sup>	2	0,042	0,042	0,031	0,053	0,000
HH Ayudante/m <sup>2</sup>	hh/m <sup>2</sup>	29	0,014	0,008	0,001	0,061	0,000
HH Peón/m <sup>2</sup>	hh/m <sup>2</sup>	50	0,030	0,017	0,004	0,094	0,001
Horas Equipo/m <sup>3</sup>	he/m <sup>3</sup>	49	0,294	0,250	0,057	0,938	0,043
HH Artesano/m <sup>3</sup>	hh/m <sup>3</sup>	2	2,233	2,233	0,466	4,000	6,245
HH Ayudante/m <sup>3</sup>	hh/m <sup>3</sup>	27	0,373	0,293	0,000	0,932	0,068
HH Peón/m <sup>3</sup>	hh/m <sup>3</sup>	51	0,952	0,805	0,001	2,971	0,429

Fuente: datos del formulario F-08

**CUADRO 18(Cont.). RENDIMIENTO OBTENIDO EN TRATAMIENTO DE JUNTAS:  
EXTENDIDO DE PEGA**

Desviación	Error	Distribución	Simulación		
Estándar	Estándar	Probabilidad	Media	Error	%Error
260,217	40,152	Normal ( 467,439 , 260,217 )	482,592	-15,153	-3,24%
4,186	0,586	Normal ( 7,042 , 4,186 )	6,953	0,089	1,26%
0,010	0,001				
0,016	0,011				
0,016	0,003				
0,025	0,004				
0,206	0,029				
2,499	1,767				
0,261	0,050				
0,655	0,092				

Fuente: datos del formulario F-08



Figura 69. Gráfico de promedio de área tratada en extendido de pega. Fuente: datos del formulario F-08

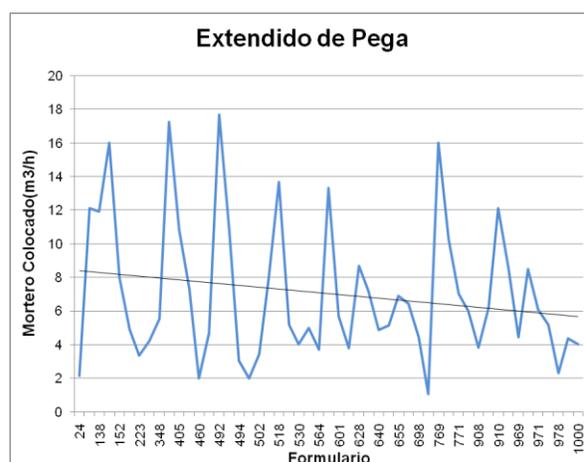


Figura 70. Gráfico de promedio de mortero colocado en extendido de pega. Fuente: datos del formulario F-08

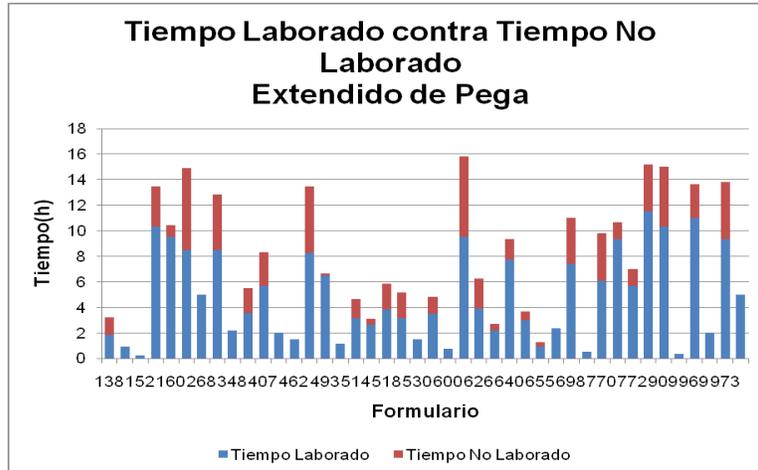


Figura 71. Gráfico de tiempo laborado contra tiempo no laborado en extendido de pega. Fuente: datos del formulario F-08

<b>CUADRO 19. RENDIMIENTO OBTENIDO EN TRATAMIENTO DE JUNTAS: EXTENDIDO DE LECHADA</b>							
Variable		Tamaño	Media	Mediana	Mínimo	Máximo	Varianza
Descripción	Unidad	Muestra					
Área Tratada	m <sup>2</sup> /h	190	887,135	750,856	100,000	2.786,885	333.556,730
Lechada(Cemento)	kg/h	194	1.904,495	333,333	6.487,603	6.487,603	1.653.626,744
Horas Equipo/m <sup>2</sup>	he/m <sup>2</sup>	186	0,003	0,001	0,000	0,102	0,000
HH Artesano/m <sup>2</sup>	hh/m <sup>2</sup>	61	0,002	0,002	0,000	0,014	0,000
HH Ayudante/m <sup>2</sup>	hh/m <sup>2</sup>	94	0,004	0,003	0,000	0,018	0,000
HH Peón/m <sup>2</sup>	hh/m <sup>2</sup>	188	0,008	0,005	0,000	0,072	0,000
Horas Equipo/kg	he/kg	186	0,001	0,001	0,000	0,007	0,000
HH Artesano/kg	hh/kg	62	0,001	0,001	0,000	0,005	0,000
HH Ayudante/kg	hh/kg	97	0,002	0,002	0,000	0,006	0,000
HH Peón/kg	hh/kg	190	0,009	0,005	0,000	0,167	0,000

Fuente: datos del formulario F-08

<b>CUADRO 19(Cont.). RENDIMIENTO OBTENIDO EN TRATAMIENTO DE JUNTAS: EXTENDIDO DE LECHADA</b>						
Desviación	Error	Distribución		Simulación		
Estándar	Estándar	Probabilidad		Media	Error	%Error
577,544	41,899	Normal ( 887,135 , 577,544 )		889,315	-2,180	-0,25%
1.285,934	92,325	Normal ( 1904,495 , 1285,934 )		1932,754	-28,259	-1,48%
0,010	0,001					
0,003	0,000					
0,003	0,000					
0,009	0,001					
0,001	0,000					
0,001	0,000					
0,001	0,000					
0,016	0,001					

Fuente: datos del formulario F-08

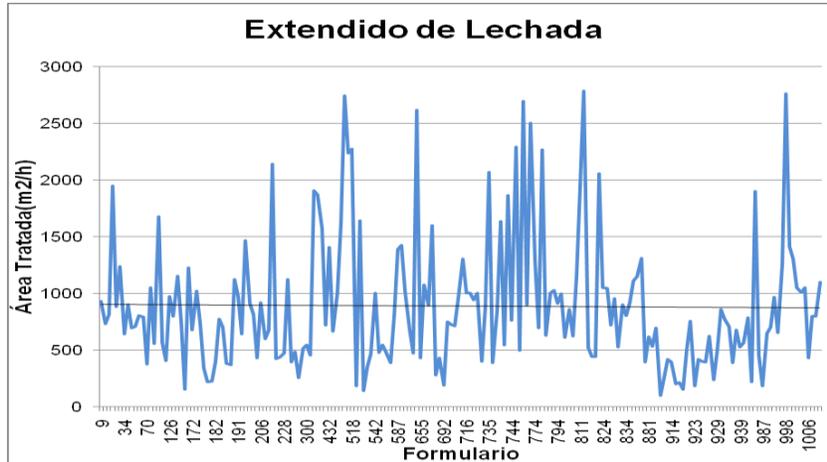


Figura 72. Gráfico de promedio de área tratada en extendido de lechada. Fuente: datos del formulario F-08

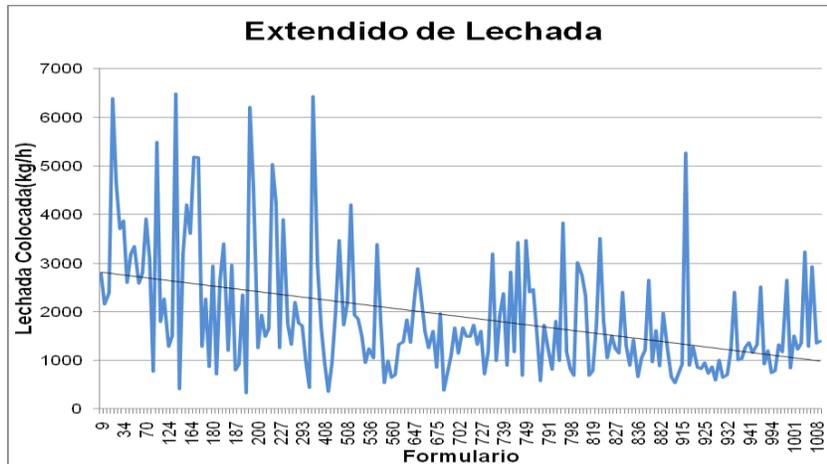


Figura 73. Gráfico de promedio de lechada colocada en extendido de lechada. Fuente: datos del formulario F-08

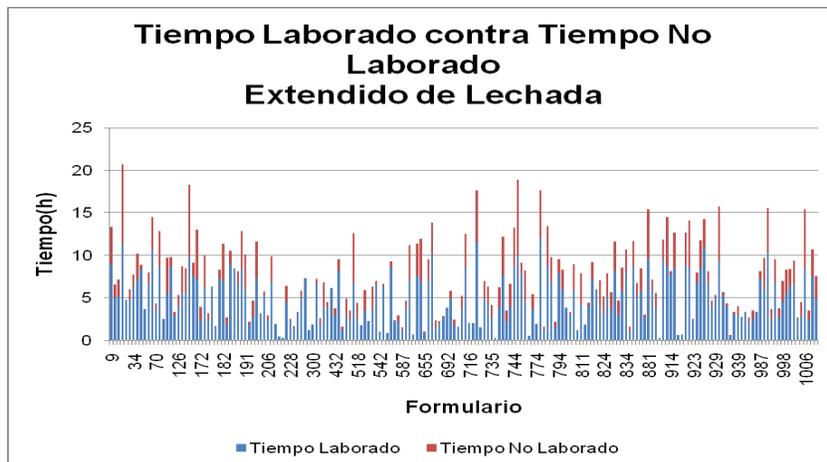


Figura 74. Gráfico de tiempo laborado contra tiempo no laborado en extendido de lechada. Fuente: datos del formulario F-08

CUADRO 20. RENDIMIENTO OBTENIDO EN COLOCACIÓN RCC: VACIADO CON VAGONETA							
Variable		Tamaño	Media	Mediana	Mínimo	Máximo	Varianza
Descripción	Unidad	Muestra					
Concreto Vaciado	m <sup>3</sup> /h	255	132,471	135,338	10,000	359,281	4.395,698
Horas Equipo/m <sup>3</sup>	he/m <sup>3</sup>	262	0,161	0,100	0,003	1,852	0,062
HH Artesanos/m <sup>3</sup>	hh/m <sup>3</sup>	1	0,007	0,007	0,007	0,007	*
HH Ayudante/m <sup>3</sup>	hh/m <sup>3</sup>	22	0,021	0,009	0,001	0,214	0,002
HH Peón/m <sup>3</sup>	hh/m <sup>3</sup>	253	0,060	0,021	0,003	1,357	0,025

Fuente: datos del formulario F-08

CUADRO 20(Cont.). RENDIMIENTO OBTENIDO EN COLOCACIÓN RCC: VACIADO CON VAGONETA						
Desviación	Error	Distribución		Simulación		
Estándar	Estándar	Probabilidad		Media	Error	%Error
66,300	4,152	Normal ( 132,471 , 66,300 )		133,922	-1,451	-1,10%
0,249	0,015					
*	*					
0,044	0,009					
0,157	0,010					

Fuente: datos del formulario F-08

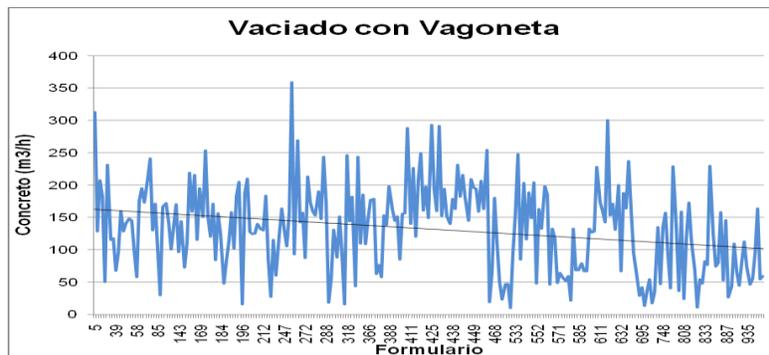


Figura 75. Gráfico de promedio de concreto vaciado con vagoneta. Fuente: datos del formulario F-08

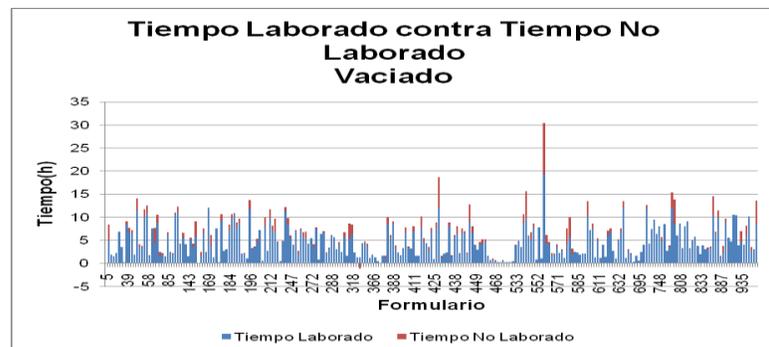


Figura 76. Gráfico de tiempo laborado contra tiempo no laborado en vaciado con vagoneta. Fuente: datos del formulario F-08

**CUADRO 21. RENDIMIENTO OBTENIDO EN COLOCACIÓN RCC:  
EXTENDIDO**

Variable		Tamaño	Media	Mediana	Mínimo	Máximo	Varianza
Descripción	Unidad	Muestra					
Concreto Extendido	m <sup>3</sup> /h	635	220,358	201,644	24,000	792,053	10.816,762
Horas Equipo/m <sup>3</sup>	he/m <sup>3</sup>	631	0,009	0,008	0,001	0,031	0,000
HH Artesanos/m <sup>3</sup>	hh/m <sup>3</sup>	3	0,012	0,012	0,004	0,020	0,000
HH Ayudante/m <sup>3</sup>	hh/m <sup>3</sup>	32	0,023	0,018	0,002	0,073	0,000
HH Peón/m <sup>3</sup>	hh/m <sup>3</sup>	578	0,016	0,011	0,001	0,093	0,000

Fuente: datos del formulario F-08

**CUADRO 21(Cont.). RENDIMIENTO OBTENIDO EN COLOCACIÓN RCC:  
EXTENDIDO**

Desviación	Error	Distribución	Simulación		
Estándar	Estándar	Probabilidad	Media	Error	%Error
104,004	4,127	Normal ( 220,358 , 104,004 )	220,712	-0,353	-0,16%
0,004	0,000				
0,008	0,004				
0,016	0,003				
0,014	0,001				

Fuente: datos del formulario F-08

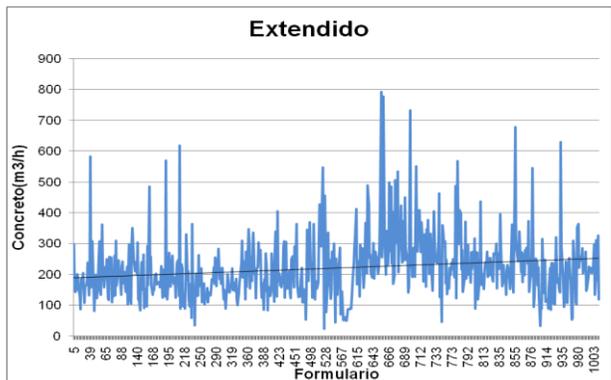


Figura 77. Gráfico de promedio de concreto extendido. Fuente: datos del formulario F-08

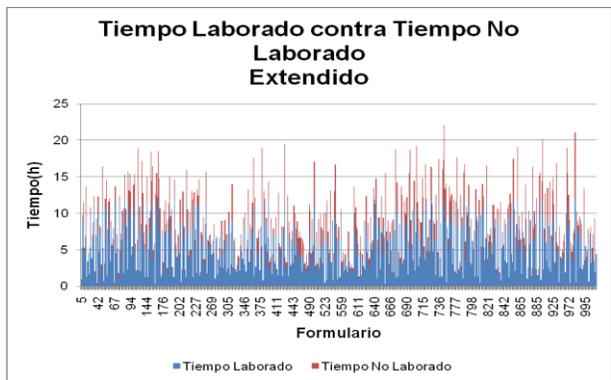


Figura 78. Gráfico de tiempo laborado contra tiempo no laborado en extendido de RCC. Fuente: datos del formulario F-08

CUADRO 22. RENDIMIENTO OBTENIDO EN COLOCACIÓN RCC: COMPACTACIÓN							
Variable		Tamaño	Media	Mediana	Mínimo	Máximo	Varianza
Descripción	Unidad	Muestra					
Concreto Compactado	m <sup>3</sup> /h	614	284,733	260,452	100,059	906,690	14.389,700
Horas Equipo/m <sup>3</sup>	he/m <sup>3</sup>	629	0,009	0,008	0,001	0,038	0,000
HH Artesanos/m <sup>3</sup>	hh/m <sup>3</sup>	1	0,002	0,002	0,002	0,002	*
HH Ayudante/m <sup>3</sup>	hh/m <sup>3</sup>	32	0,013	0,009	0,002	0,054	0,000
HH Peón/m <sup>3</sup>	hh/m <sup>3</sup>	614	0,008	0,007	0,001	0,064	0,000

Fuente: datos del formulario F-08

CUADRO 22(Cont.). RENDIMIENTO OBTENIDO EN COLOCACIÓN RCC: COMPACTACIÓN						
Desviación	Error	Distribución		Simulación		
Estándar	Estándar	Probabilidad		Media	Error	%Error
119,957	4,841	Normal ( 284,733 , 119,957 )		285,473	-0,739	-0,26%
0,005	0,000					
*	*					
0,012	0,002					
0,006	0,000					

Fuente: datos del formulario F-08

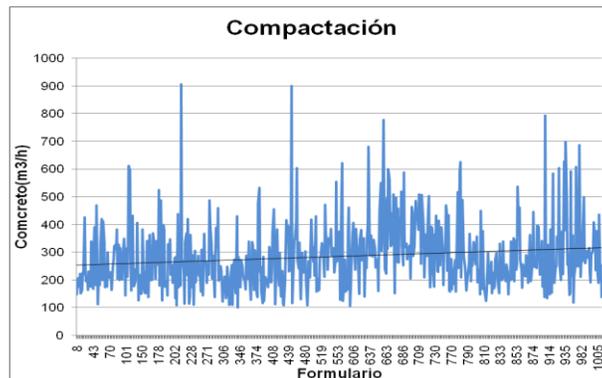


Figura 79. Gráfico de promedio de concreto compactado. Fuente: datos del formulario F-08

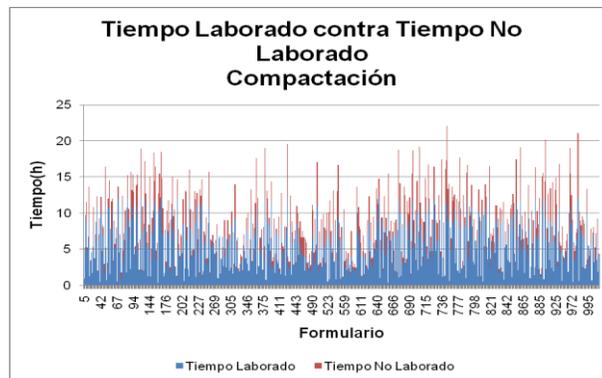


Figura 80. Gráfico de tiempo laborado contra tiempo no laborado en compactación de RCC. Fuente: datos del formulario F-08

**CUADRO 23. RENDIMIENTO OBTENIDO EN COLOCACIÓN RCC:  
ENRIQUECIMIENTO**

Variable		Tamaño	Media	Mediana	Mínimo	Máximo	Varianza
Descripción	Unidad	Muestra					
Longitud	m/h	631	65,605	57,000	11,987	294,760	1.553,069
Lechada(Cemento)	kg/h	655	1.272,9565	1.029,4118	125,0000	5.488,7218	763.884,5622
Horas Equipo/m	he/m	598	0,0243	0,0180	0,0012	0,5600	0,0011
HH Artesanos/m	hh/m	308	0,0325	0,0205	0,0022	0,2183	0,0011
HH Ayudante/m	hh/m	479	0,0523	0,0426	0,0022	0,4366	0,0021
HH Peón/m	hh/m	615	0,1204	0,1042	0,0046	0,8731	0,0076
Horas Equipo/kg	he/kg	609	0,0013	0,0010	0,0002	0,0180	0,0000
HH Artesano/kg	hh/kg	324	0,0017	0,0012	0,0001	0,0166	0,0000
HH Ayudante/kg	hh/kg	493	0,0029	0,0022	0,0003	0,0240	0,0000
HH Peón/kg	hh/kg	632	0,0069	0,0056	0,0001	0,0466	0,0000

Fuente: datos del formulario F-08

**CUADRO 23(Cont.). RENDIMIENTO OBTENIDO EN COLOCACIÓN RCC:  
ENRIQUECIMIENTO**

Desviación	Error	Distribución	Simulación		
Estándar	Estándar	Probabilidad	Media	Error	%Error
39,409	1,569	Normal ( 65,605 , 39,409 )	64,793	0,812	1,24%
874,0049	34,1502	Normal ( 1272,956 , 874,005 )	1279,210	-6,253	-0,49%
0,0325	0,0013				
0,0339	0,0019				
0,0455	0,0021				
0,0873	0,0035				
0,0014	0,0001				
0,0015	0,0001				
0,0027	0,0001				
0,0057	0,0002				

Fuente: datos del formulario F-08

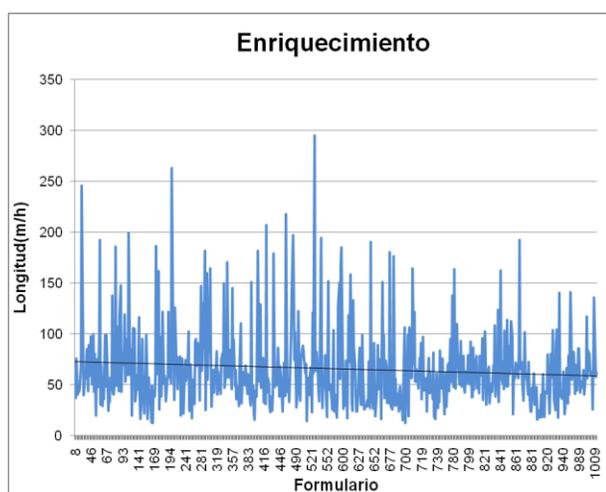


Figura 81. Gráfico de promedio de longitud enriquecida con lechada. Fuente: datos del formulario F-08

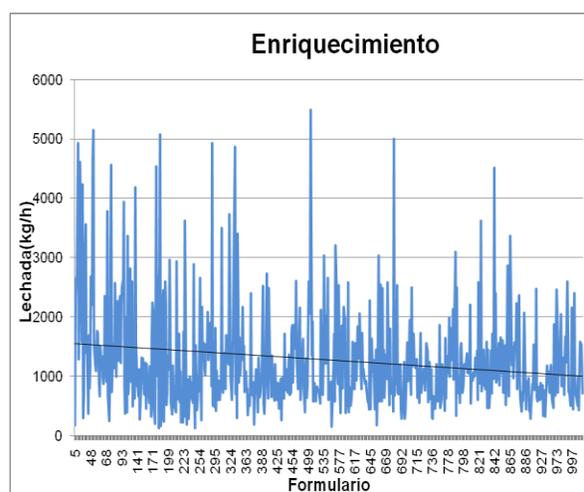


Figura 82. Gráfico de promedio de lechada colocada. Fuente: datos del formulario F-08

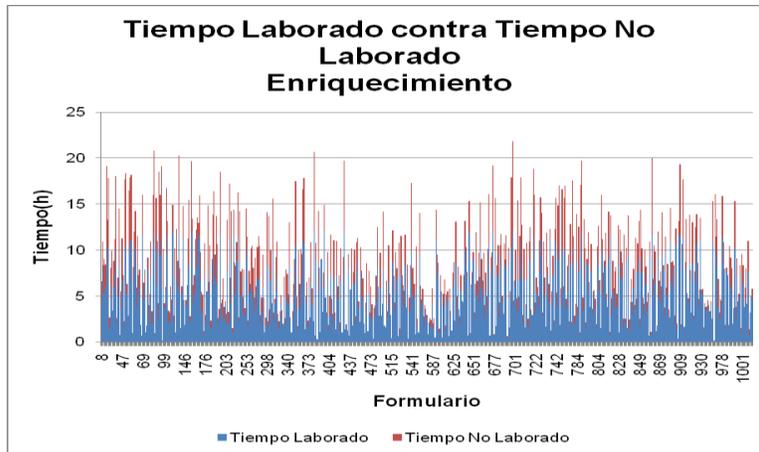


Figura 83. Gráfico de tiempo laborado contra tiempo no laborado en enriquecimiento de RCC. Fuente: datos del formulario F-08

CUADRO 24. RENDIMIENTO OBTENIDO EN: INDUCCIÓN DE JUNTA							
Variable		Tamaño	Media	Mediana	Mínimo	Máximo	Varianza
Descripción	Unidad	Muestra					
Longitud	m/h	562	102,240	96,899	21,053	276,923	1.557,265
Horas Equipo/m	he/m	565	0,012	0,010	0,002	0,056	0,000
HH Artesanos/m	hh/m	5	0,020	0,016	0,006	0,035	0,000
HH Ayudante/m	hh/m	200	0,014	0,012	0,003	0,081	0,000
HH Peón/m	hh/m	495	0,020	0,019	0,001	0,095	0,000

Fuente: datos del formulario F-08

CUADRO 24 (Cont.). RENDIMIENTO OBTENIDO EN: INDUCCIÓN DE JUNTA						
Desviación	Error	Distribución		Simulación		
Estandar	Estandar	Probabilidad		Media	Error	%Error
39,462	1,665	Normal ( 102,240 , 39,462 )		103,637	-1,397	-1,37%
0,006	0,000					
0,014	0,006					
0,010	0,001					
0,011	0,000					

Fuente: datos del formulario F-08

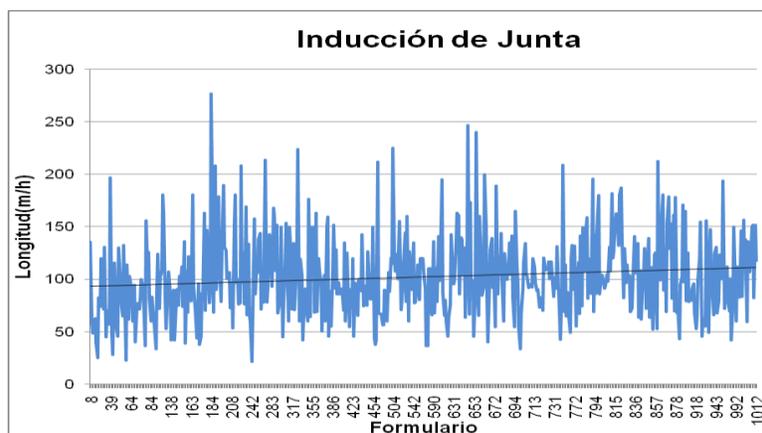


Figura 84. Gráfico de promedio de longitud de junta abarcada. Fuente: datos del formulario F-08

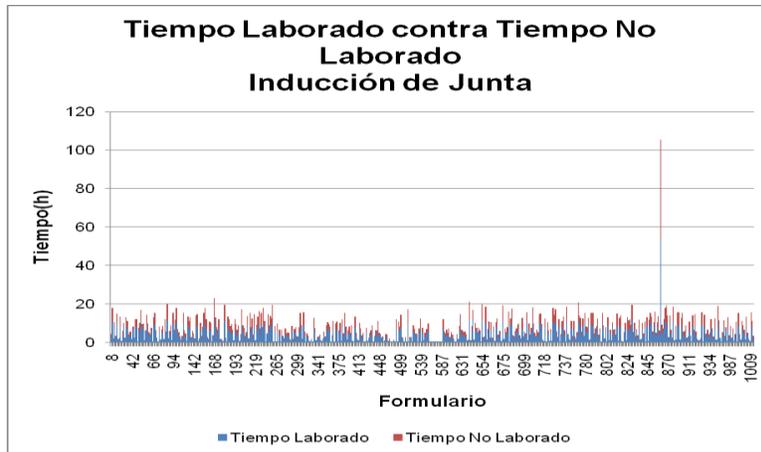


Figura 85. Gráfico de tiempo laborado contra tiempo no laborado en Inducción de Junta. Fuente: datos del formulario F-08

CUADRO 25. RENDIMIENTO OBTENIDO EN: PRODUCCIÓN EN PLANTA DE CONCRETO							
Variable		Tamaño	Media	Mediana	Mínimo	Máximo	Varianza
Descripción	Unidad	Muestra					
Productividad	m <sup>3</sup> /h	652	207,126	194,125	36,818	980,000	10.235,252
Horas Equipo/m	he/m <sup>3</sup>	631	0,006	0,005	0,001	0,027	0,000
HH Peón/m	hh/m <sup>3</sup>	475	0,033	0,029	0,003	0,163	0,000

Fuente: datos del formulario F-08

CUADRO 25(Cont.). RENDIMIENTO OBTENIDO EN: PRODUCCIÓN EN PLANTA DE CONCRETO						
Desviación	Error	Distribución		Simulación		
Estándar	Estándar	Probabilidad		Media	Error	%Error
101,169	3,962	Normal ( 207,126 , 101,169 )		206,339	0,786	0,38%
0,003	0,000					
0,019	0,001					

Fuente: datos del formulario F-08

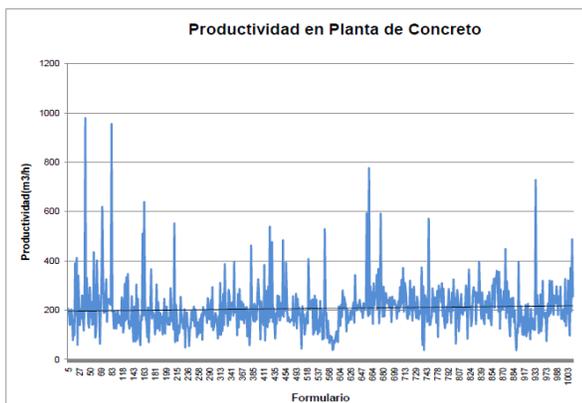


Figura 86. Gráfico de promedio de productividad en Planta de Concreto. Fuente: datos del formulario F-08

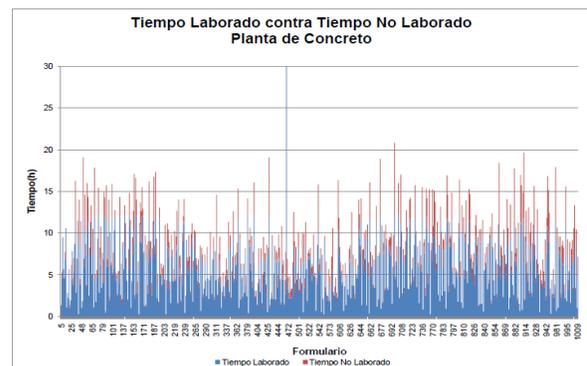


Figura 87. Gráfico de tiempo laborado contra tiempo no laborado en producción de Planta de Concreto. Fuente: datos del formulario F-08

CUADRO 26. RENDIMIENTO OBTENIDO EN: PRODUCCIÓN CON FAJA TRANSPORTADORA							
Variable		Tamaño	Media	Mediana	Mínimo	Máximo	Varianza
Descripción	Unidad	Muestra					
Productividad	m <sup>3</sup> /h	477	218,977	204,550	50,231	980,000	10.253,167
Horas Equipo/m	he/m <sup>3</sup>	481	0,006	0,005	0,001	0,086	0,000
HH Peón/m	hh/m <sup>3</sup>	349	0,014	0,013	0,001	0,099	0,000

Fuente: datos del formulario F-08

CUADRO 26(Cont.). RENDIMIENTO OBTENIDO EN: PRODUCCIÓN CON FAJA TRANSPORTADORA						
Desviación	Error	Distribución		Simulación		
Estandar	Estandar	Probabilidad		Media	Error	%Error
101,258	4,636	Normal ( 218,977 , 101,258 )		221,872	-2,895	-1,32%
0,005	0,000					
0,009	0,000					

Fuente: datos del formulario F-08

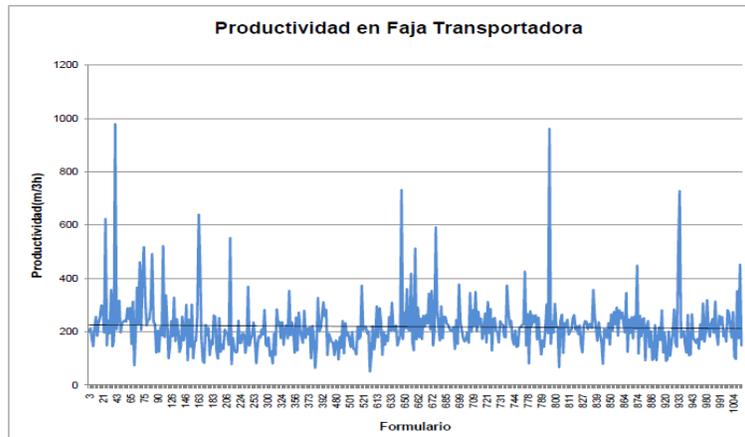


Figura 88. Gráfico de promedio de productividad en faja transportadora. Fuente: datos del formulario F-08

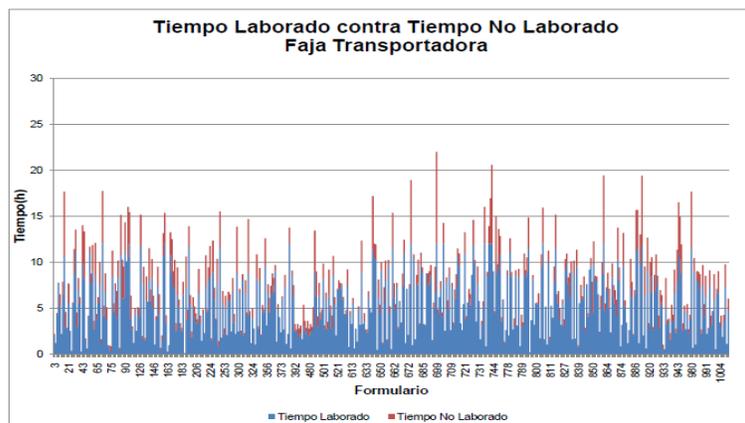


Figura 89. Gráfico de tiempo laborado contra tiempo no laborado en producción con Faja Transportadora. Fuente: datos del formulario F-08

CUADRO 27. RENDIMIENTO OBTENIDO EN: PRODUCCIÓN CON VAGONETA							
Variable		Tamaño	Media	Mediana	Mínimo	Máximo	Varianza
Descripción	Unidad	Muestra					
Productividad	m <sup>3</sup> /h	277	132,581	137,778	10,000	283,333	4.098,934
Horas Equipo/m	he/m <sup>3</sup>	276	0,107	0,099	0,004	0,388	0,004

Fuente: datos del formulario F-08

CUADRO 27(Cont.). RENDIMIENTO OBTENIDO EN: PRODUCCIÓN CON VAGONETA						
Desviación	Error	Distribución		Simulación		
Estándar	Estándar	Probabilidad		Media	Error	%Error
64,023	3,847	Normal ( 132,581 , 64,023 )		131,887	0,694	0,52%
0,061	0,004					

Fuente: datos del formulario F-08

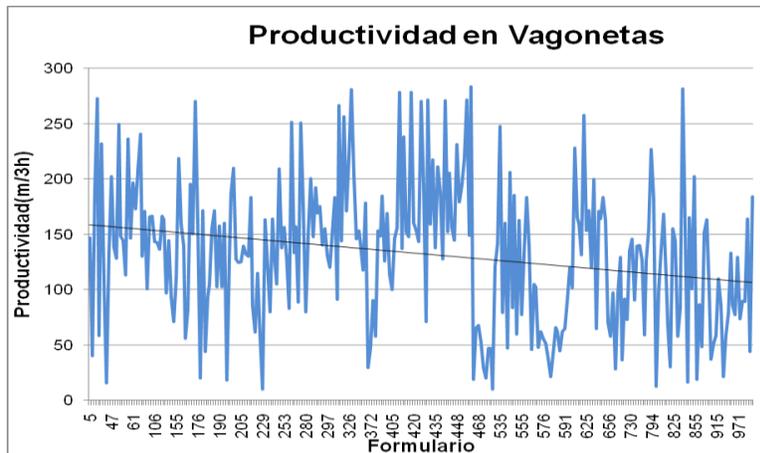


Figura 90. Gráfico de promedio de productividad en vagonetas. Fuente: datos del formulario F-08

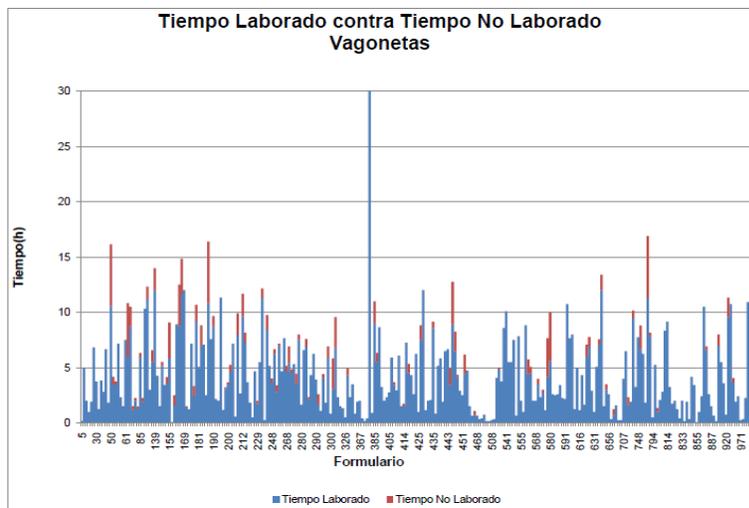


Figura 91. Gráfico de tiempo laborado contra tiempo no laborado en producción con Vagoneta. Fuente: datos del formulario F-08

<b>CUADRO 28. RENDIMIENTO OBTENIDO EN: ENCOFRADO DE PARAMENTOS</b>							
Variable		Tamaño	Media	Mediana	Mínimo	Máximo	Varianza
Descripción	Unidad	Muestra					
<b>Formaleta DOKA</b>							
Productividad	m <sup>2</sup> /h	340	14,903	13,410	1,829	48,872	82,678
Horas Equipo/m <sup>2</sup>	he/m <sup>2</sup>	337	0,138	0,105	0,022	0,958	0,013
HH Artesano/m <sup>2</sup>	hh/m <sup>2</sup>	336	0,597	0,464	0,071	2,667	0,203
HH Ayudante/m <sup>2</sup>	hh/m <sup>2</sup>	360	0,432	0,327	0,043	2,957	0,127
HH Peón/m <sup>2</sup>	hh/m <sup>2</sup>	86	0,208	0,157	0,026	0,852	0,020
<b>Formaleta Mecánica(Otras Marcas Comerciales)</b>							
Productividad	m <sup>2</sup> /h	10	9,735	8,878	2,667	20,423	35,625
Horas Equipo/m <sup>2</sup>	he/m <sup>2</sup>	10	0,140	0,113	0,025	0,375	0,011
HH Artesano/m <sup>2</sup>	hh/m <sup>2</sup>	10	0,552	0,536	0,250	0,828	0,055
HH Ayudante/m <sup>2</sup>	hh/m <sup>2</sup>	10	0,388	0,338	0,181	0,750	0,043
HH Peón/m <sup>2</sup>	hh/m <sup>2</sup>	4	0,272	0,273	0,181	0,362	0,007
<b>Formaleta Mecánica-Doka</b>							
Productividad	m <sup>2</sup> /h	12	11,336	9,898	4,423	24,345	35,541
Horas Equipo/m <sup>2</sup>	he/m <sup>2</sup>	12	0,171	0,162	0,070	0,355	0,007
HH Artesano/m <sup>2</sup>	hh/m <sup>2</sup>	10	1,386	1,237	0,890	2,000	0,195
HH Ayudante/m <sup>2</sup>	hh/m <sup>2</sup>	11	0,561	0,452	0,113	0,975	0,119
HH Peón/m <sup>2</sup>	hh/m <sup>2</sup>	6	0,168	0,123	0,108	0,355	0,009

Fuente: datos del formulario F-08

<b>CUADRO 28(Cont.). RENDIMIENTO OBTENIDO EN: ENCOFRADO DE PARAMENTOS</b>						
Desviación	Error	Distribución		Simulación		
Estándar	Estándar	Probabilidad		Media	Error	%Error
<b>Formaleta DOKA</b>						
9,093	0,493	Normal ( 14,903 , 9,093 )		14,717	0,186	1,25%
0,113	0,006					
0,451	0,025					
0,357	0,019					
0,141	0,015					
<b>Formaleta Mecánica(Otras Marcas Comerciales)</b>						
5,969	1,887	Normal ( 9,735 , 5,969 )		9,173	0,562	5,77%
0,104	0,033					
0,235	0,074					
0,207	0,065					
0,082	0,041					
<b>Formaleta Mecánica-Doka</b>						
5,962	1,721	Normal ( 11,336 , 5,962 )		11,150	0,186	1,64%
0,086	0,026					
0,441	0,140					
0,344	0,104					
0,096	0,039					

Fuente: datos del formulario F-08

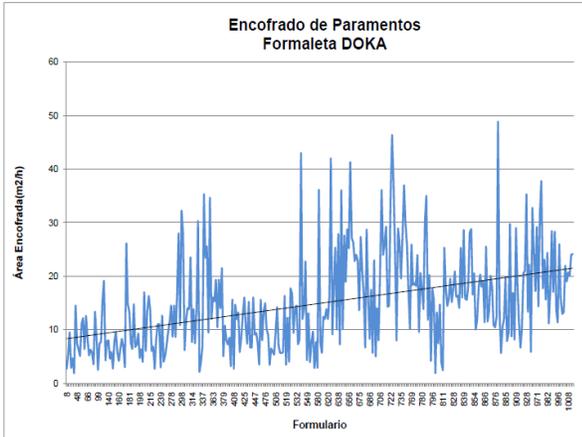


Figura 92. Gráfico de promedio de área de formaleta Doka encofrada en paramentos. Fuente: datos del formulario F-08

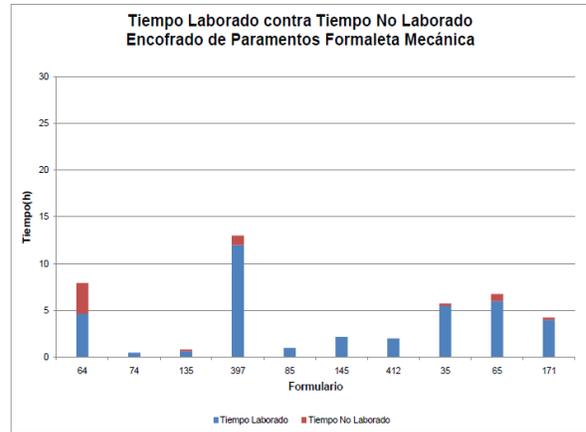


Figura 95. Gráfico de tiempo laborado contra tiempo no laborado en encofrado de paramentos formaleta Mecánica. Fuente: datos del formulario F-08

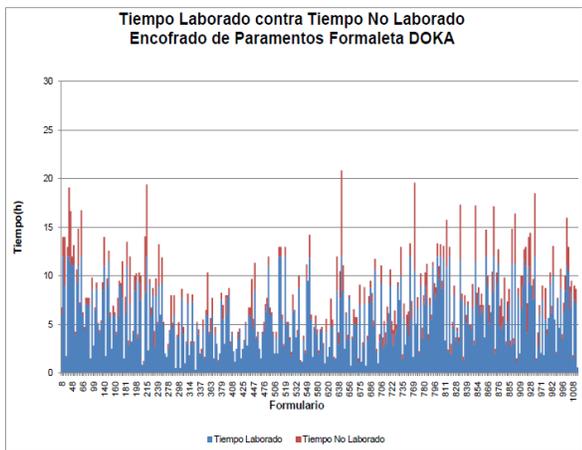


Figura 93. Gráfico de tiempo laborado contra tiempo no laborado en encofrado de paramentos formaleta Doka. Fuente: datos del formulario F-08

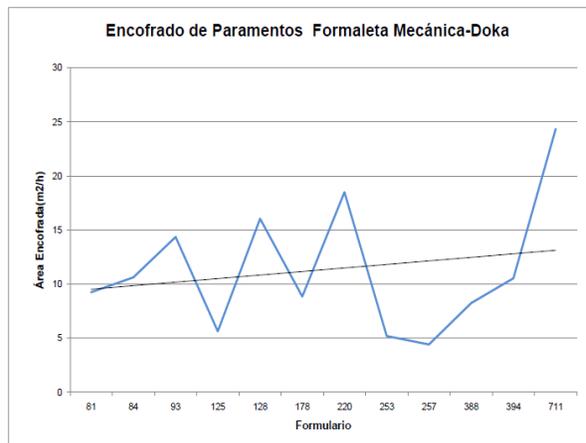


Figura 96. Gráfico de promedio de área de formaleta encofrada en paramentos, usando diferentes marcas comerciales. Fuente: datos del formulario F-08

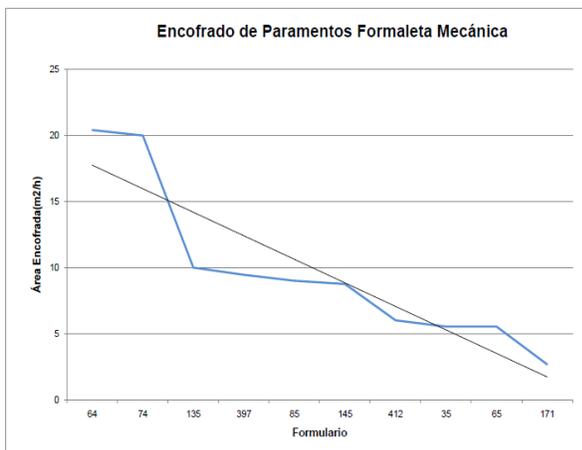


Figura 94. Gráfico de promedio de área de formaleta Mecánica encofrada en paramentos. Fuente: datos del formulario F-08

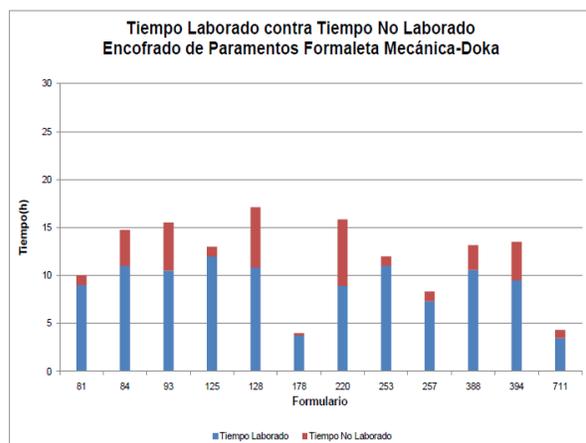


Figura 97. Gráfico de tiempo laborado contra tiempo no laborado en encofrado de paramentos formaleta Mecánica-Doka. Fuente: datos del formulario F-08

<b>CUADRO 29. RENDIMIENTO OBTENIDO EN: ENCOFRADO DE GALERÍAS</b>							
Variable		Tamaño	Media	Mediana	Mínimo	Máximo	Varianza
Descripción	Unidad	Muestra					
<b>Formaleta DOKA</b>							
Productividad	m <sup>2</sup> /h	4	10,457	10,241	2,146	19,200	48,919
Horas Equipo/m <sup>2</sup>	he/m <sup>2</sup>	5	0,062	0,052	0,025	0,105	0,001
HH Artesanos/m <sup>2</sup>	hh/m <sup>2</sup>	4	0,232	0,231	0,104	0,364	0,016
HH Ayudante/m <sup>2</sup>	hh/m <sup>2</sup>	3	0,106	0,105	0,104	0,109	0,000
<b>Formaleta Mecánica</b>							
Productividad	m <sup>2</sup> /h	5	9,896	10,476	4,500	16,000	26,494
Horas Equipo/m <sup>2</sup>	he/m <sup>2</sup>	4	0,066	0,068	0,031	0,095	0,001
HH Artesano/m <sup>2</sup>	hh/m <sup>2</sup>	4	0,303	0,246	0,094	0,625	0,052
HH Ayudante/m <sup>2</sup>	hh/m <sup>2</sup>	5	0,420	0,286	0,094	0,889	0,108
HH Peón/m <sup>2</sup>	hh/m <sup>2</sup>	1	0,667	0,667	0,667	0,667	*
<b>Formaleta Mecánica-Doka</b>							
Productividad	m <sup>2</sup> /h	1	7,642	7,642	7,642	7,642	*
Horas Equipo/m <sup>2</sup>	he/m <sup>2</sup>	1	0,131	0,131	0,131	0,131	*
HH Artesanos/m <sup>2</sup>	hh/m <sup>2</sup>	1	0,523	0,523	0,523	0,523	*
HH Ayudante/m <sup>2</sup>	hh/m <sup>2</sup>	1	0,523	0,523	0,523	0,523	*

Fuente: datos del formulario F-08

<b>CUADRO 29(Cont.). RENDIMIENTO OBTENIDO EN: ENCOFRADO DE GALERÍAS</b>						
Estándar	Estándar	Probabilidad		Media	Error	%Error
<b>Formaleta DOKA</b>						
6,994	3,497	Normal ( 10,457 , 6,994 )		10,440	-0,017	-0,16%
0,035	0,016					
0,127	0,063					
0,002	0,001					
<b>Formaleta Mecánica</b>						
5,147	2,302	Normal ( 9,896 , 5,147 )		10,154	0,258	2,537%
0,027	0,013					
0,229	0,114					
0,329	0,147					
*	*					
<b>Formaleta Mecánica-Doka</b>						
*	*	Normal ( 7,642 , * )		*	*	*
*	*					
*	*					
*	*					

Fuente: datos del formulario F-08

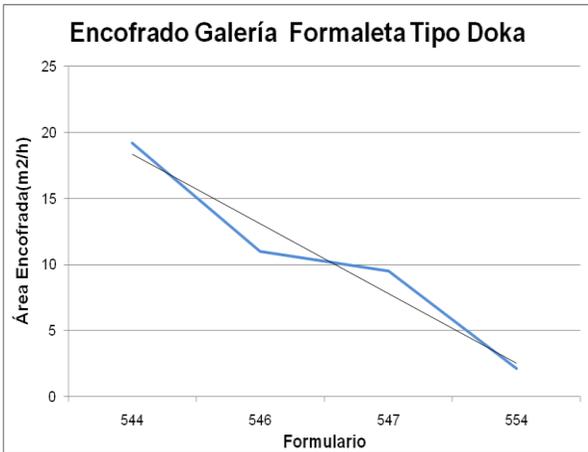


Figura 98. Gráfico de promedio de área de formaleta Doka encofrada en galerías. Fuente: datos del formulario F-08

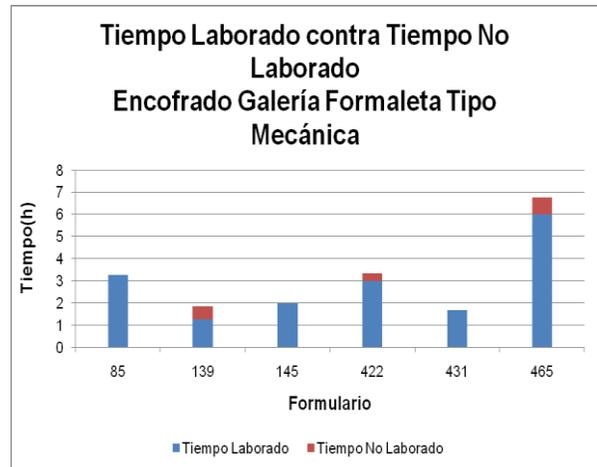


Figura 101. Gráfico de tiempo laborado contra tiempo no laborado en encofrado de galerías formaleta Mecánica. Fuente: datos del formulario F-08

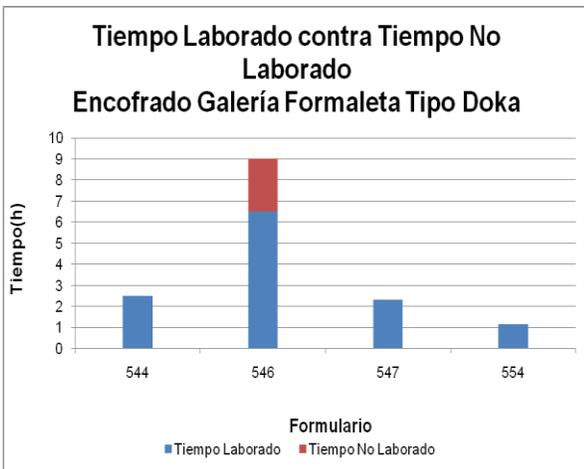


Figura 99. Gráfico de tiempo laborado contra tiempo no laborado en encofrado de galerías formaleta Doka. Fuente: datos del formulario F-08. Fuente: datos del formulario F-08

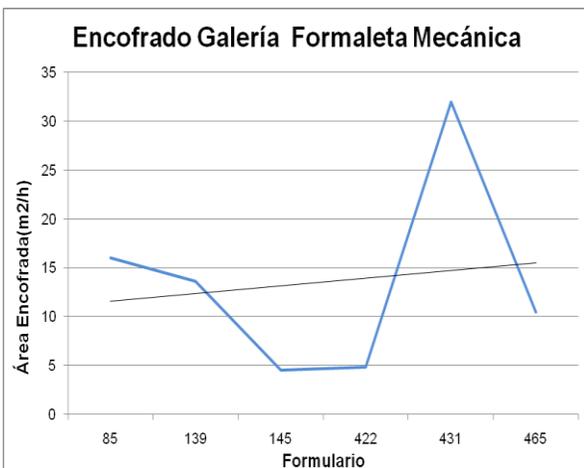


Figura 100. Gráfico de promedio de área de formaleta Mecánica encofrada en galerías. Fuente: datos del formulario F-08

<b>CUADRO 30. RENDIMIENTO OBTENIDO EN: DESENCOFRADO DE PARAMENTOS</b>							
Variable		Tamaño	Media	Mediana	Mínimo	Máximo	Varianza
Descripción	Unidad	Muestra					
<b>Formaleta DOKA</b>							
Productividad	m <sup>2</sup> /h	289	12,278	10,125	1,176	44,841	73,528
Horas Equipo/m <sup>2</sup>	he/m <sup>2</sup>	278	0,194	0,139	0,025	2,000	0,055
HH Artesano/m <sup>2</sup>	hh/m <sup>2</sup>	288	0,538	0,366	0,043	3,400	0,262
HH Ayudante/m <sup>2</sup>	hh/m <sup>2</sup>	282	0,467	0,339	0,043	2,933	0,171
HH Peón/m <sup>2</sup>	hh/m <sup>2</sup>	59	0,244	0,200	0,025	0,850	0,026
<b>Formaleta Mecánica</b>							
Productividad	m <sup>2</sup> /h	5	5,692	6,333	1,556	7,519	5,636
Horas Equipo/m <sup>2</sup>	he/m <sup>2</sup>	5	0,122	0,145	0,012	0,163	0,005
HH Artesano/m <sup>2</sup>	hh/m <sup>2</sup>	4	0,251	0,186	0,048	0,651	0,054
HH Ayudante/m <sup>2</sup>	hh/m <sup>2</sup>	5	0,341	0,399	0,048	0,643	0,051
HH Peón/m <sup>2</sup>	hh/m <sup>2</sup>	2	0,110	0,110	0,057	0,163	0,006
<b>Formaleta Mecánica-Doka</b>							
Productividad	m <sup>2</sup> /h	6	8,090	8,468	3,182	13,333	13,475
Horas Equipo/m <sup>2</sup>	he/m <sup>2</sup>	6	0,222	0,195	0,097	0,415	0,016
HH Artesano/m <sup>2</sup>	hh/m <sup>2</sup>	6	0,990	0,764	0,581	1,868	0,274
HH Ayudante/m <sup>2</sup>	hh/m <sup>2</sup>	6	0,871	0,614	0,581	1,453	0,174
HH Peón/m <sup>2</sup>	hh/m <sup>2</sup>	1	0,208	0,208	0,208	0,208	*

Fuente: datos del formulario F-08

<b>CUADRO 30 (Cont.). RENDIMIENTO OBTENIDO EN: DESENCOFRADO DE PARAMENTOS</b>						
Desviación	Error	Distribución		Simulación		
Estándar	Estándar	Probabilidad		Media	Error	%Error
<b>Formaleta DOKA</b>						
8,575	0,504	Normal (	12,278 , 8,575 )	12,349	-0,071	-0,58%
0,234	0,014					
0,512	0,030					
0,413	0,025					
0,161	0,021					
<b>Formaleta Mecánica</b>						
2,374	1,062	Normal (	5,692 , 2,374 )	5,677	0,015	0,26%
0,067	0,028					
0,232	0,071					
0,227	0,058					
0,075	0,053					
<b>Formaleta Mecánica-Doka</b>						
3,671	1,499	Normal (	8,090 , 3,671 )	8,008	0,083	1,02%
0,125	0,051					
0,523	0,214					
0,417	0,170					
*	*					

Fuente: datos del formulario F-08

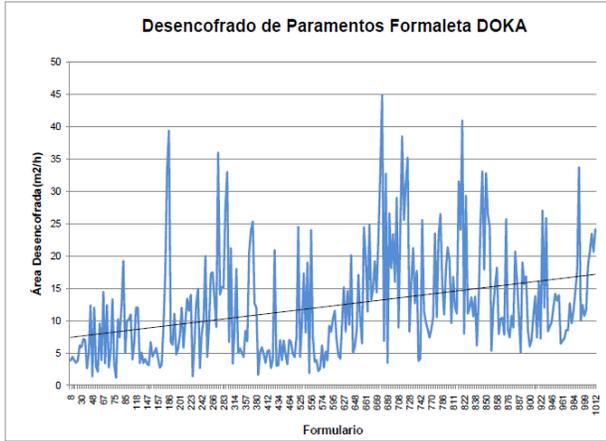


Figura 102. Gráfico de promedio de área de formaleta Doka desenfofrada en paramentos. Fuente: datos del formulario F-08

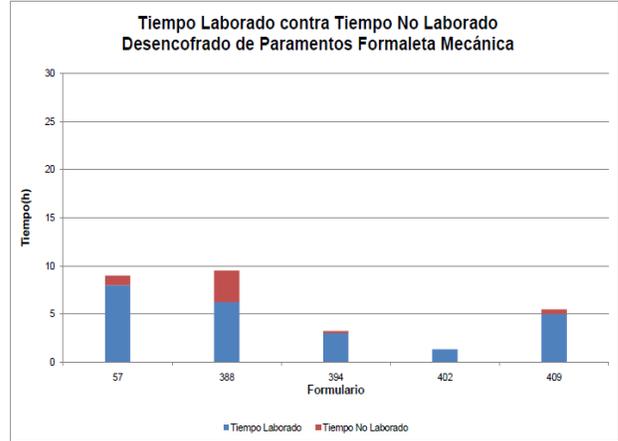


Figura 105. Gráfico de tiempo laborado contra tiempo no laborado en desenfofrado de paramentos formaleta Mecánica. Fuente: datos del formulario F-08

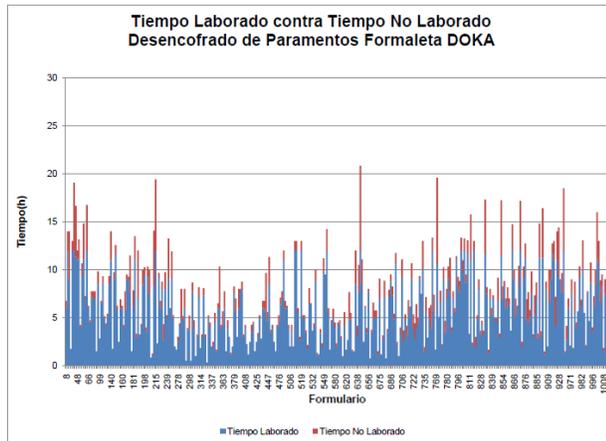


Figura 103. Gráfico de tiempo laborado contra tiempo no laborado en desenfofrado de paramentos formaleta Doka. Fuente: datos del formulario F-08

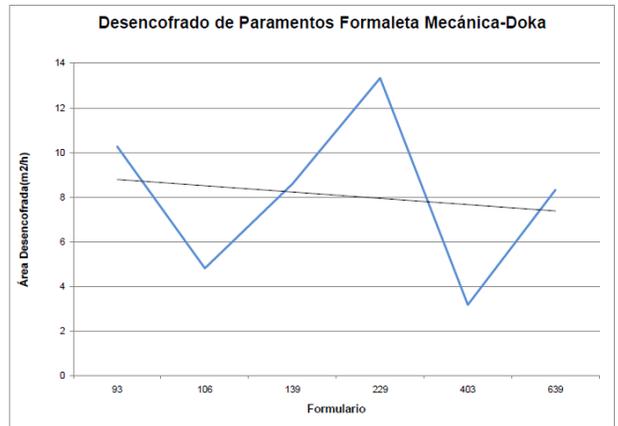


Figura 106. Gráfico de promedio de área de formaleta desenfofrada en paramentos, usando diferentes marcas comerciales. Fuente: datos del formulario F-08

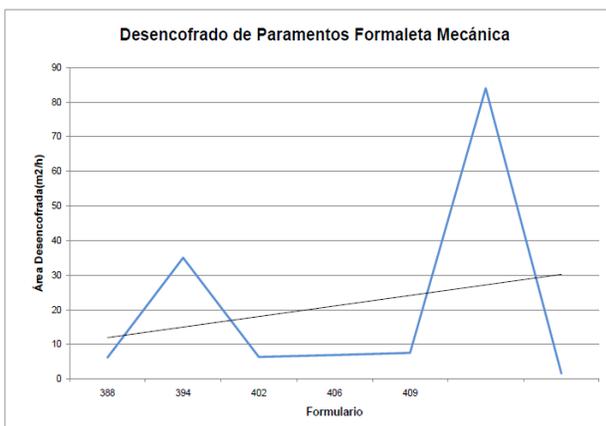


Figura 104. Gráfico de promedio de área de formaleta Mecánica desenfofrada en paramentos. Fuente: datos del formulario F-08

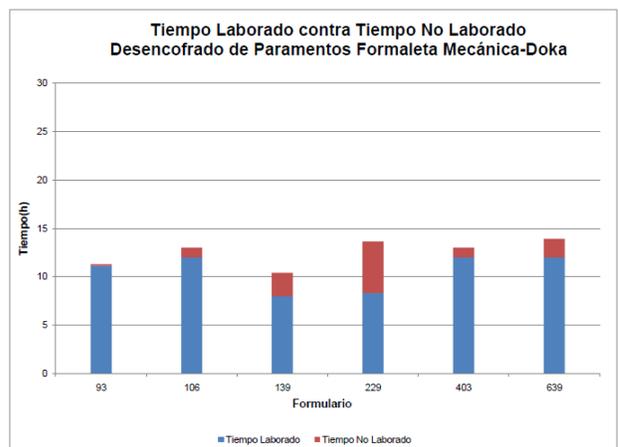


Figura 107. Gráfico de tiempo laborado contra tiempo no laborado en desenfofrado de paramentos formaleta Mecánica-Doka. Fuente: datos del formulario F-08

<b>CUADRO 31. RENDIMIENTO OBTENIDO EN: DESENCOFRADO DE GALERÍAS</b>							
Variable		Tamaño	Media	Mediana	Mínimo	Máximo	Varianza
Descripción	Unidad	Muestra					
<b>Formaleta DOKA</b>							
Productividad	m <sup>2</sup> /h	3	7,145	8,471	1,273	11,692	28,459
Horas Equipo/m <sup>2</sup>	he/m <sup>2</sup>	3	0,358	0,171	0,118	0,786	0,138
HH Artesanos/m <sup>2</sup>	hh/m <sup>2</sup>	3	0,555	0,708	0,171	0,786	0,112
HH Ayudante/m <sup>2</sup>	hh/m <sup>2</sup>	3	0,845	0,708	0,257	1,571	0,446
<b>Formaleta Mecánica</b>							
Productividad	m <sup>2</sup> /h	2	14,372	14,372	11,429	17,314	17,322
Horas Equipo/m <sup>2</sup>	he/m <sup>2</sup>	3	0,060	0,058	0,034	0,088	0,001
HH Artesanos/m <sup>2</sup>	hh/m <sup>2</sup>	3	0,368	0,341	0,263	0,500	0,015
HH Ayudante/m <sup>2</sup>	hh/m <sup>2</sup>	3	0,423	0,341	0,263	0,666	0,046
<b>Formaleta Mecánica-Doka</b>							
Productividad	m <sup>2</sup> /h	1	22,636	22,636	22,636	22,636	*
Horas Equipo/m <sup>2</sup>	he/m <sup>2</sup>	1	0,044	0,044	0,044	0,044	*
HH Artesanos/m <sup>2</sup>	hh/m <sup>2</sup>	1	0,177	0,177	0,177	0,177	*
HH Ayudante/m <sup>2</sup>	hh/m <sup>2</sup>	1	0,221	0,221	0,221	0,221	*

Fuente: datos del formulario F-08

<b>CUADRO 31(Cont.). RENDIMIENTO OBTENIDO EN: DESENCOFRADO GALERÍAS</b>					
Desviación	Error	Distribución	Simulación		
Estándar	Estándar	Probabilidad	Media	Error	%Error
<b>Formaleta DOKA</b>					
5,335	3,080	Normal ( 7,1452 , 5,3347 )	7,308	0,163	2,231%
0,371	0,214				
0,335	0,193				
0,668	0,386				
<b>Formaleta Mecánica</b>					
4,162	2,943	Normal ( 14,372 , 4,162 )	14,447	0,075	0,521%
0,027	0,015				
0,121	0,070				
0,214	0,124				
<b>Formaleta Mecánica-Doka</b>					
*	*				
*	*				
*	*				
*	*				

Fuente: datos del formulario F-08

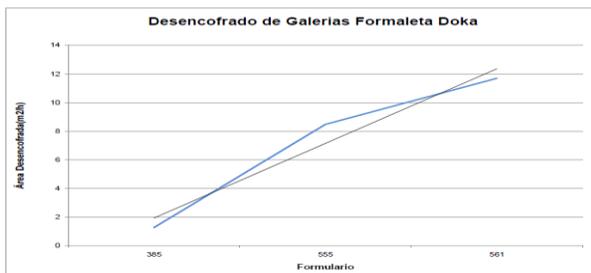


Figura 108. Gráfico de promedio de área de formaleta Doka desencofrada en galerías. Fuente: datos del formulario F-08

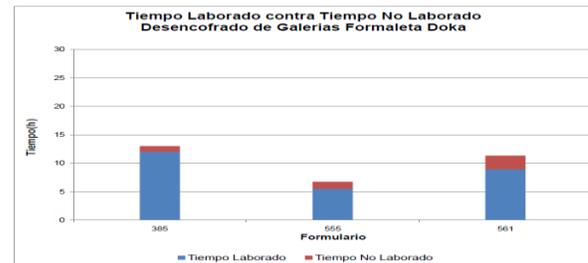


Figura 109. Gráfico de tiempo laborado contra tiempo no laborado en desencofrado de galerías formaleta Doka. Fuente: datos del formulario F-08

**CUADRO 32. RESUMEN DE RENDIMIENTOS DE RCC**

Operación	Descripción de Proceso	Unidad	Rendimiento	Mano de Obra			Equipo
				Artesano	Ayudante	Peón	
Tratamiento de Juntas	Limpieza Superficial: Aspiración	m <sup>2</sup> /h	512,64	1	3	12	2
	Limpieza Superficial: Soplado	m <sup>2</sup> /h	513,80	0	3	14	1
	Limpieza Superficial: Ambos M.	m <sup>2</sup> /h	265,14	1	6	11	2
	Limpieza Intermedia	m <sup>2</sup> /h	714,80	0	1	5	2
	Limpieza Profunda: Lavado BP	m <sup>2</sup> /h	271,00	1	2	7	1
	Limpieza Profunda: Lavado AP	m <sup>2</sup> /h	331,52	1	3	7	1
	Limpieza Profunda: Ambos M.	m <sup>2</sup> /h	368,33	0	7	17	1
	Extendido de Pega	m <sup>2</sup> /h	467,44	1	2	7	2
		m <sup>3</sup> /h	7,04				
	Extendido de Lechada	m <sup>2</sup> /h	887,13	1	2	5	2
kg/h		1.904,50					
Colocación en Sitio	Vaciado Vagoneta RCC	m <sup>3</sup> /h	132,47	1	1	3	13
	Extendido RCC	m <sup>3</sup> /h	220,36	1	1	3	2
	Compactación RCC	m <sup>3</sup> /h	284,73	1	1	2	3
	Enriquecimiento RCC	m/h	65,61	1	2	6	1
		kg/h	1.272,96				
	Inducción de Junta	m/h	102,24	1	1	2	2
Producción	Producción Planta de Concreto	m <sup>3</sup> /h	207,13	0	1	5	1
	Producción Fajas Transportadoras	m <sup>3</sup> /h	477,00	0	1	2	2
Trabajos de Formaleta	Encofrado Paramentos (Formaleta DOKA)	m <sup>2</sup> /h	14,90	6	5	1	2
	Encofrado Paramentos (Formaleta Mecánica)	m <sup>2</sup> /h	9,73	5	4	1	1
	Encofrado Paramentos (Formaleta Mecánica-Doka)	m <sup>2</sup> /h	11,34	8	7	1	2
	Encofrado Galerías Doka	m <sup>2</sup> /h	10,46	3	2	0	1
	Encofrado Galerías Mecánica	m <sup>2</sup> /h	9,90	4	4	1	1
	Desencofrado Paramentos (Formaleta DOKA)	m <sup>2</sup> /h	12,28	5	4	1	2
	Desencofrado Paramentos (Formaleta Mecánica)	m <sup>2</sup> /h	5,69	8	7	1	2
	Desencofrado Paramentos (Formaleta Mecánica-Doka)	m <sup>2</sup> /h	8,09	8	7	1	2
	Desencofrado Galerías DOKA	m <sup>2</sup> /h	7,15	3	4	0	2
	Desencofrado Galerías Mecánica	m <sup>2</sup> /h	14,37	2	2	0	1
	Desencofrado Galerías Mecánica-Doka	m <sup>2</sup> /h	22,64	4	5	0	1

Fuente: datos del formulario F-08

# Indicadores de presa

En este apartado se presentan cuadros y gráficos relacionados con el RCC y realizados con la información recopilada en los departamentos de Planeamiento y Control, Planta de Producción de Concreto, Oficina de Ingeniería y la Oficina Técnica del Sitio de Presa. Con ellos se podrá comparar la información obtenida con el formulario de captura F-08 y se complementa el estudio realizado con la práctica.

La información se elaboró con los datos de presa capturados entre el 23 de marzo del 2009 y el 23 de marzo del 2010.

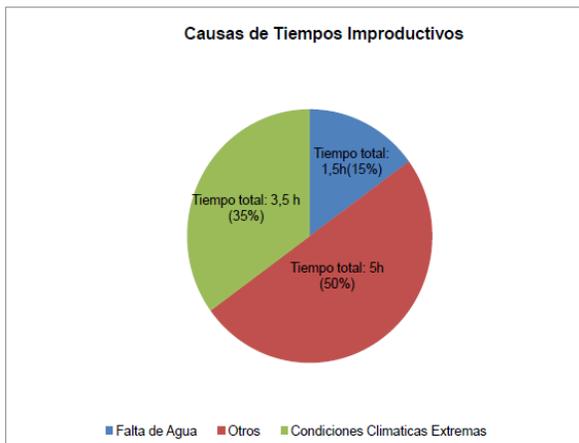


Figura 110. Gráfico de causas de tiempos improductivos. Fuente: datos de F-08(29/06/2009-23/03/2010)

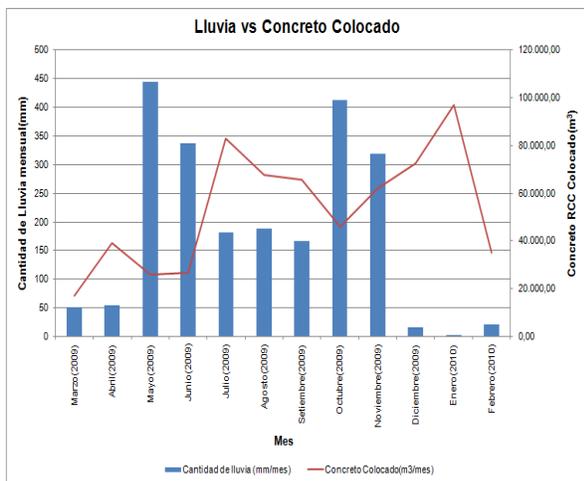


Figura 111. Gráfico lluvia mensual contra cantidad mensual de concreto colocado. Fuente: datos de Departamento de Planeamiento y Control y Oficina Técnica del Sitio de Presa (23/03/2009-28/02/2010)

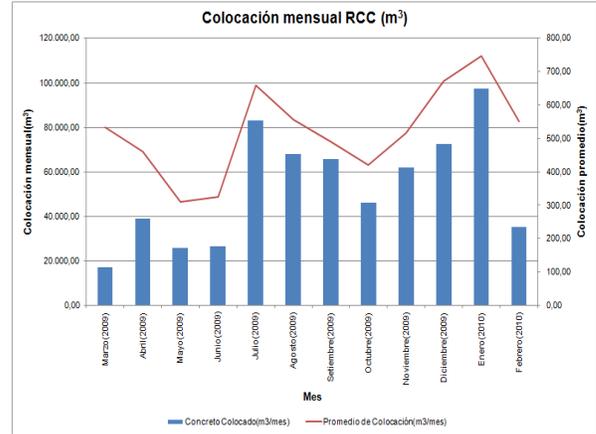


Figura 112. Gráfico de cantidad mensual de concreto RCC colocado. Fuente: datos de departamento de Planeamiento y Control (23/03/2009-28/02/2010)

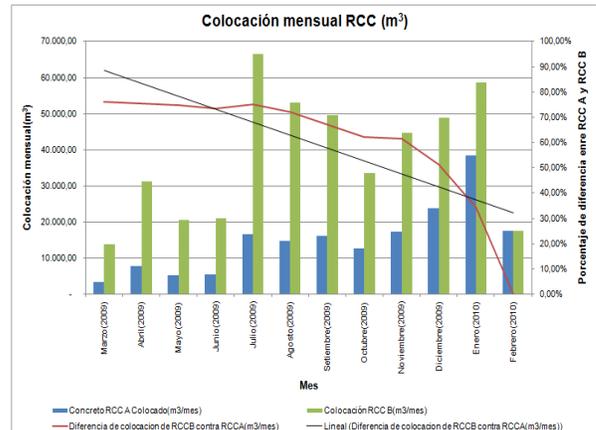


Figura 113. Gráfico de cantidad mensual de concreto RCC tipo A y B colocados. Fuente: datos de Departamento de Planeamiento y Control (23/03/2009-28/02/2010)

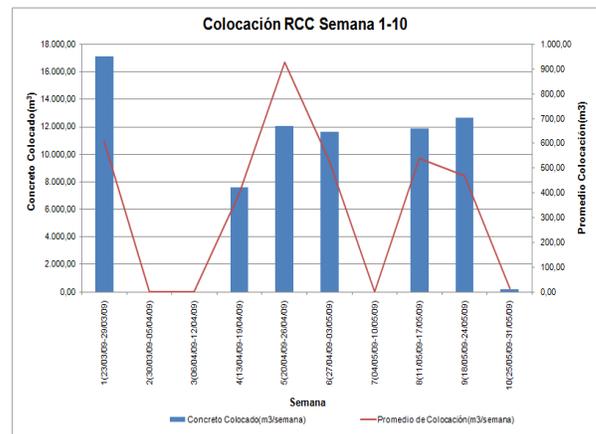


Figura 114. Gráfico de cantidad de concreto RCC colocado entre la semana 1 (23/03/2009-29/03/2009) y la semana 10 (25/05/2009-31/05/2009). Fuente: datos de Departamento de Planeamiento y Control

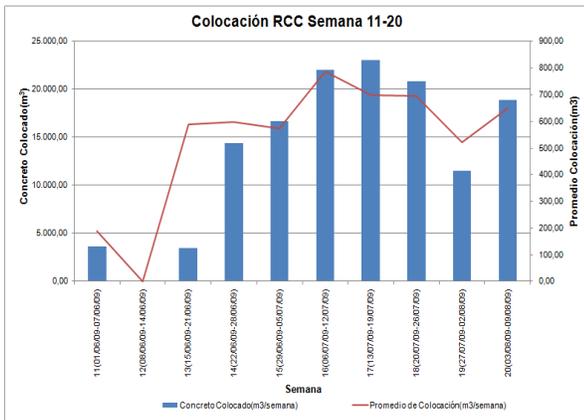


Figura 115. Gráfico de cantidad de concreto RCC colocado entre la semana 11 (01/06/2009-07/06/2009) y la semana 20 (03/08/2009-09/08/2009). Fuente: datos de Departamento de Planeamiento y Control

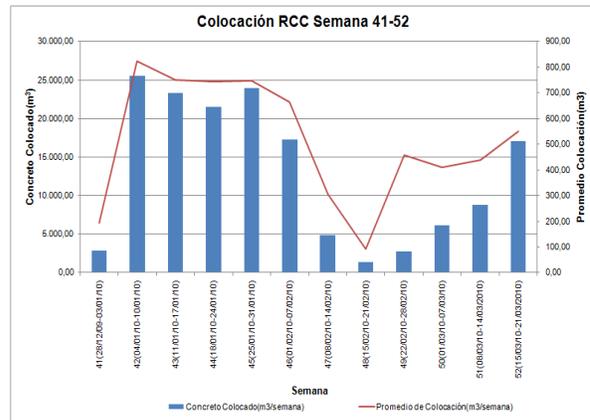


Figura 118. Gráfico de cantidad de concreto RCC colocado entre la semana 41 (28/12/2009-03/01/2010) y la semana 52 (15/03/2010-21/03/2010). Fuente: datos de Departamento de Planeamiento y Control

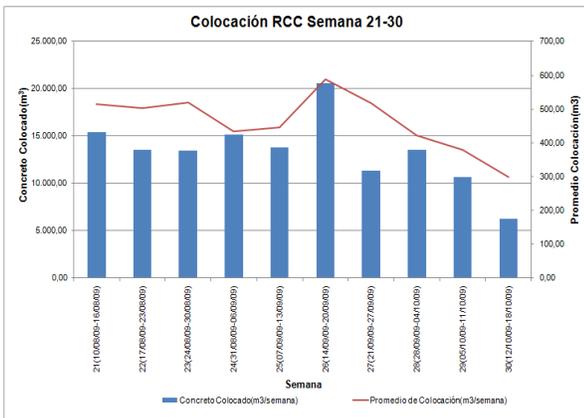


Figura 116. Gráfico de cantidad de concreto RCC colocado entre la semana 21 (10/08/2009-16/08/2009) y la semana 30 (03/08/2009-09/08/2009). Fuente: datos de Departamento de Planeamiento y Control

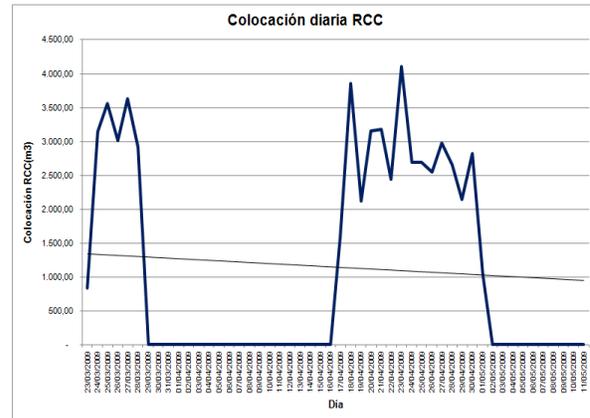


Figura 119. Gráfico de cantidad de concreto RCC colocado entre el día 23/03/2009 y el 11/05/2009. Fuente: datos de Departamento de Planeamiento y Control

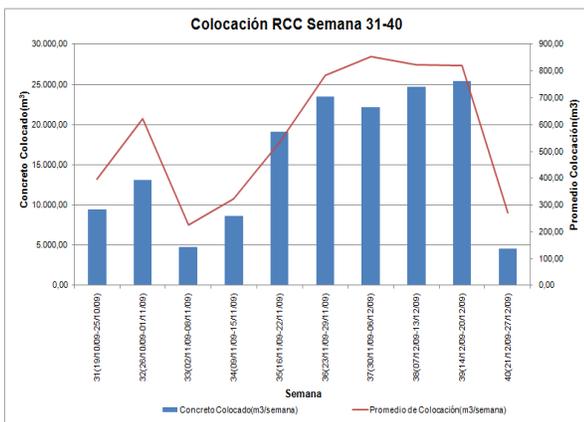


Figura 117. Gráfico de cantidad de concreto RCC colocado entre la semana 31 (19/10/2009-25/10/2009) y la semana 40 (21/12/2009-27/12/2009). Fuente: datos de Departamento de Planeamiento y Control

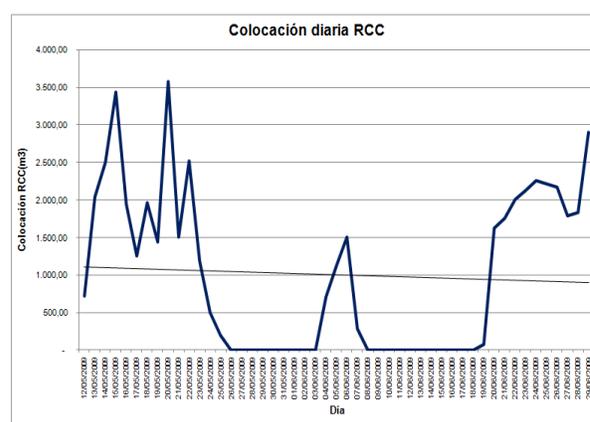


Figura 120. Gráfico de cantidad de concreto RCC colocado entre el día 12/05/2009-29/06/2009. Fuente: datos de Departamento de Planeamiento y Control

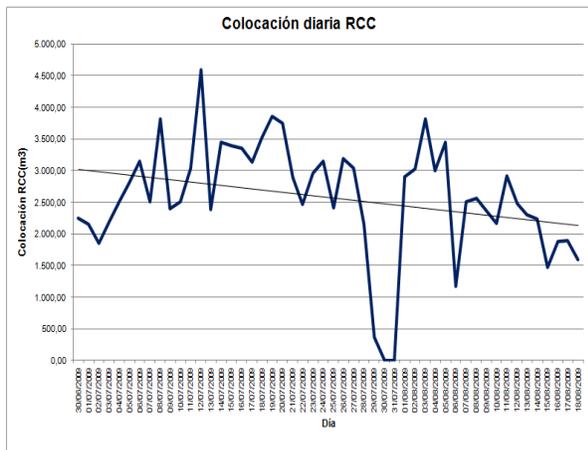


Figura 121. Gráfico de cantidad de concreto RCC colocado entre el día 30/06/2009-18/08/2009. Fuente: datos de Departamento de Planeamiento y Control

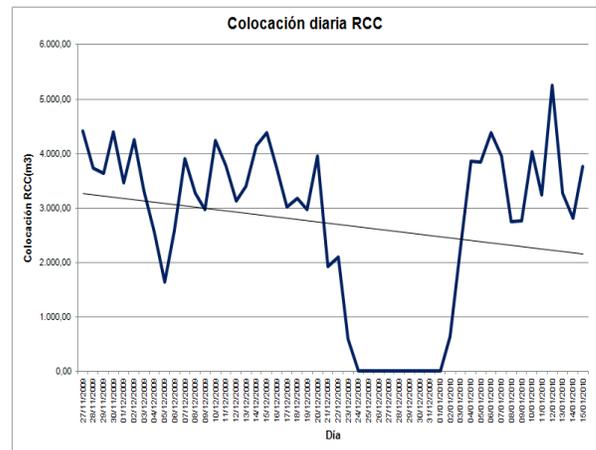


Figura 124. Gráfico de cantidad de concreto RCC colocado entre el día 27/11/2009-15/01/2010. Fuente: datos de Departamento de Planeamiento y Control

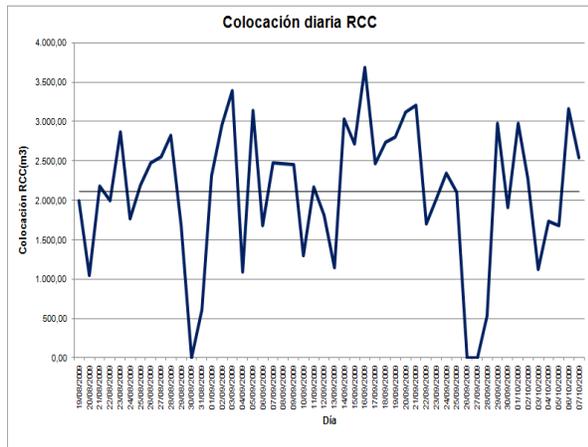


Figura 122. Gráfico de cantidad de concreto RCC colocado entre el día 19/08/2009-07/10/2009. Fuente: datos de Departamento de Planeamiento y Control

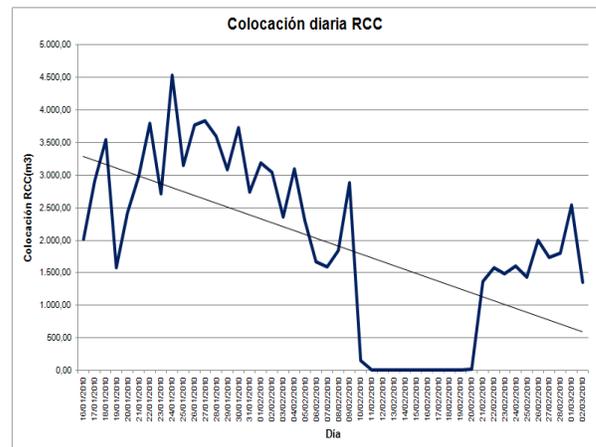


Figura 125. Gráfico de cantidad de concreto RCC colocado entre el día 16/01/2010-02/03/2010. Fuente: datos de Departamento de Planeamiento y Control

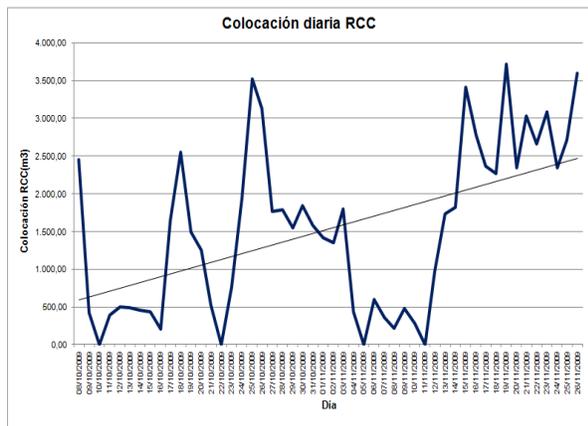


Figura 123. Gráfico de cantidad de concreto RCC colocado entre el día 08/10/2009-26/11/2009. Fuente: datos de Departamento de Planeamiento y Control

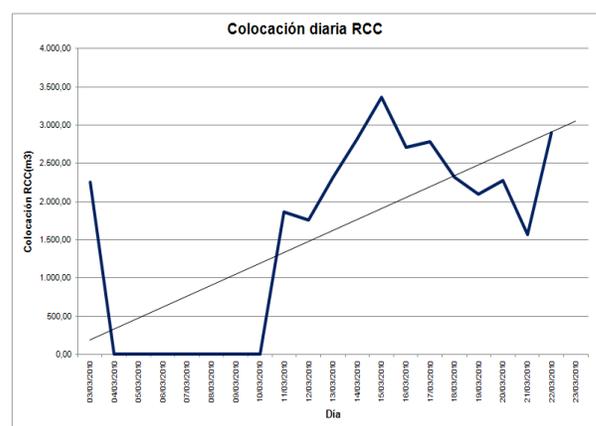


Figura 126. Gráfico de cantidad de concreto RCC colocado entre el día 03/03/2010-23/03/2010. Fuente: datos de Departamento de Planeamiento y Control

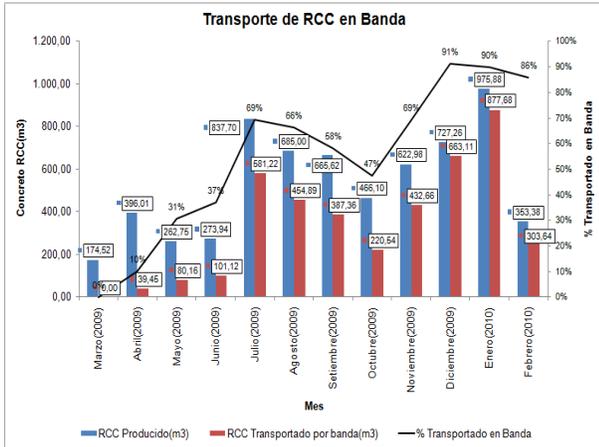


Figura 127. Gráfico de cantidad de concreto RCC transportado en banda entre el 23/03/2009 y el 28/02/2010. Fuente: datos de Departamento de Planeamiento y Control

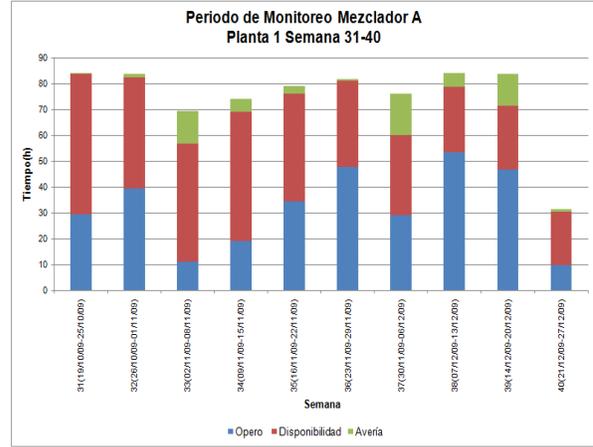


Figura 130. Gráfico del periodo de monitoreo del mezclador A de la planta 1 entre la semana 31 y 40. Fuente: datos de la Planta de Producción de Concreto RCC

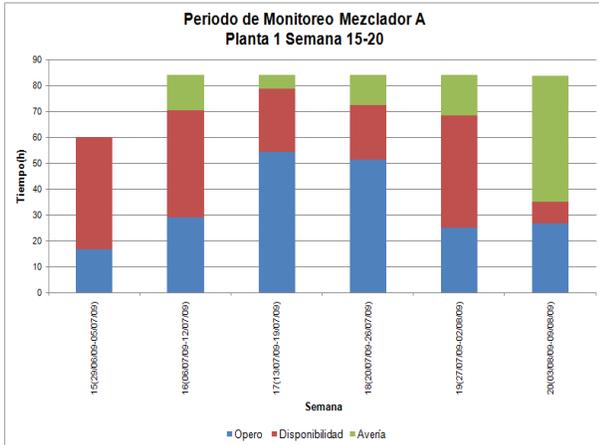


Figura 128. Gráfico del periodo de monitoreo del mezclador A de la planta 1 entre la semana 15 y 20. Fuente: datos de la Planta de Producción de Concreto RCC

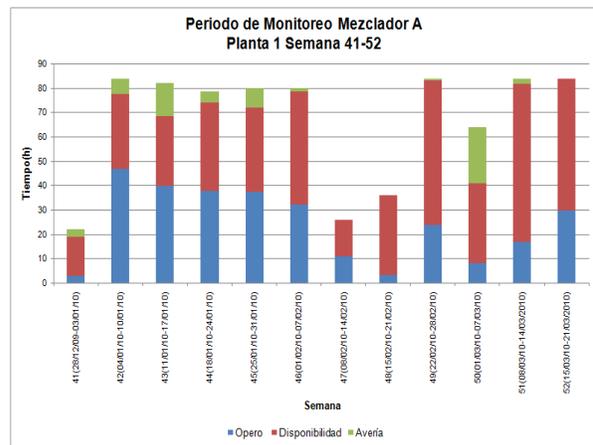


Figura 131. Gráfico del periodo de monitoreo del mezclador A de la planta 1 entre la semana 41 y 52. Fuente: datos de la Planta de Producción de Concreto RCC

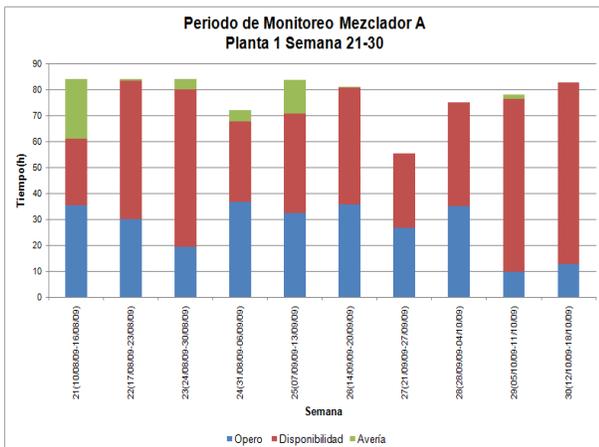


Figura 129. Gráfico del periodo de monitoreo del mezclador A de la planta 1 entre la semana 21 y 30. Fuente: datos de la Planta de Producción de Concreto RCC

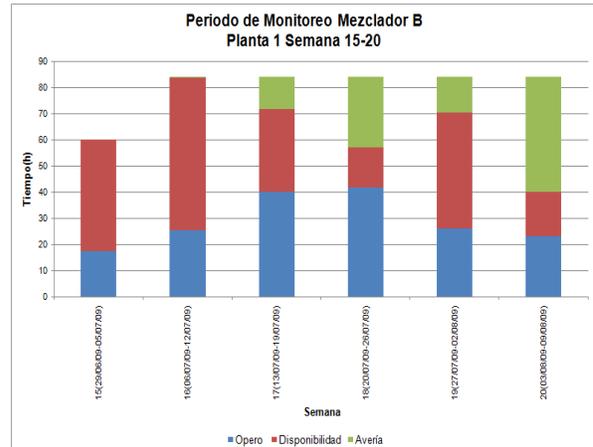


Figura 132. Gráfico del periodo de monitoreo del mezclador B de la planta 1 entre la semana 15 y 20. Fuente: datos de la Planta de Producción de Concreto RCC

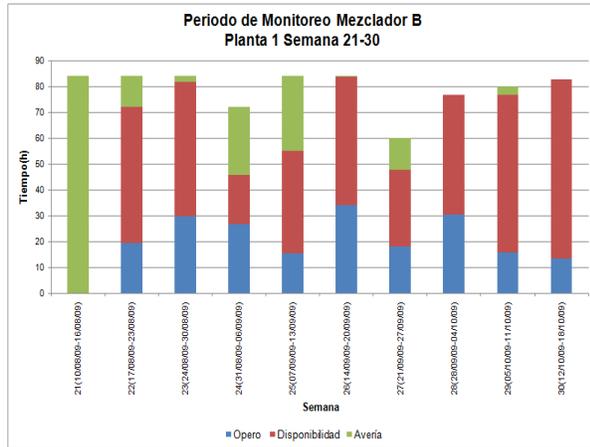


Figura 133. Gráfico del periodo de monitoreo del mezclador B de la planta 1 entre la semana 21 y 30. Fuente: datos de la Planta de Producción de Concreto RCC

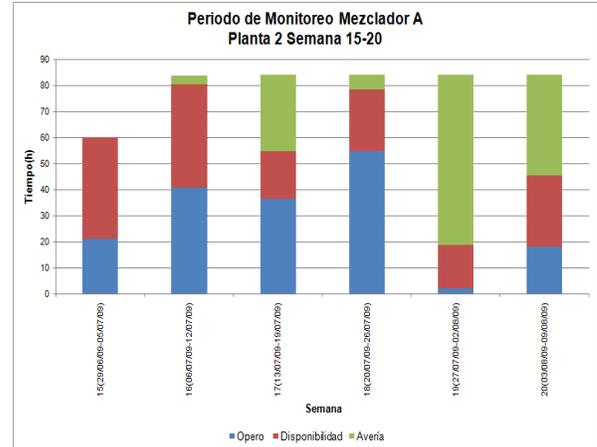


Figura 136. Gráfico del periodo de monitoreo del mezclador A de la planta 2 entre la semana 15 y 20. Fuente: datos de la Planta de Producción de Concreto RCC

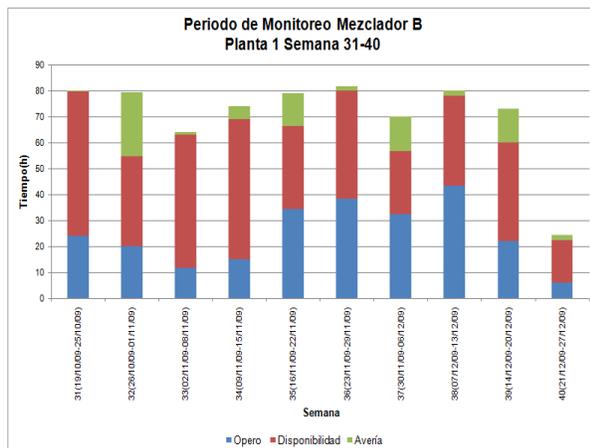


Figura 134. Gráfico del periodo de monitoreo del mezclador B de la planta 1 entre la semana 31 y 40. Fuente: datos de la Planta de Producción de Concreto RCC

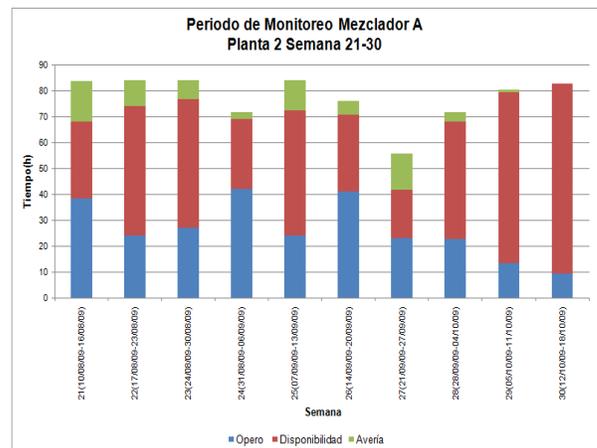


Figura 137. Gráfico del periodo de monitoreo del mezclador A de la planta 2 entre la semana 21 y 30. Fuente: datos de la Planta de Producción de Concreto RCC

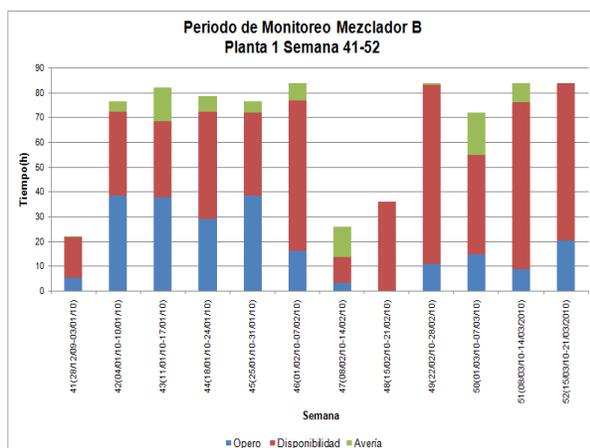


Figura 135. Gráfico del periodo de monitoreo del mezclador B de la planta 1 entre la semana 41 y 52. Fuente: datos de la Planta de Producción de Concreto RCC

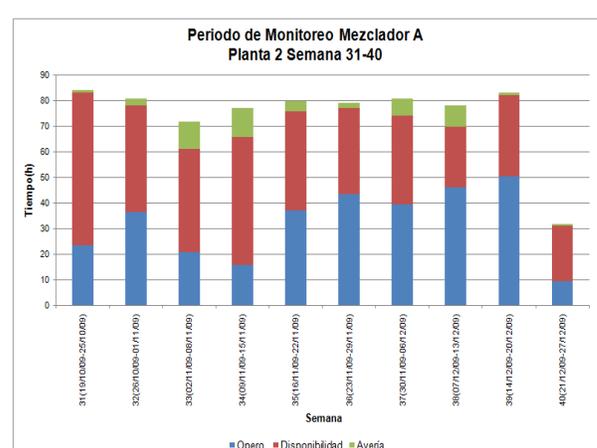


Figura 138. Gráfico del periodo de monitoreo del mezclador A de la planta 2 entre la semana 31 y 40. Fuente: datos de la Planta de Producción de Concreto RCC

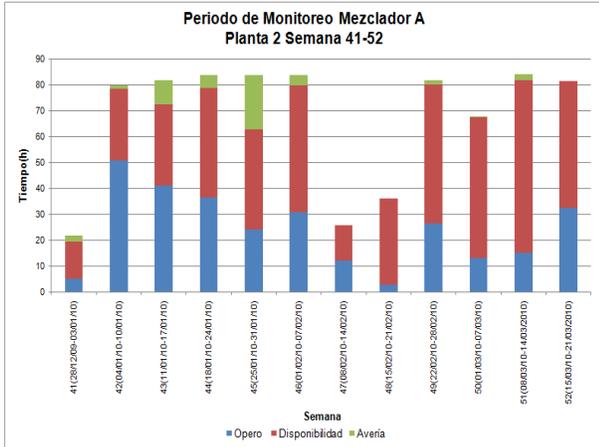


Figura 139. Gráfico del periodo de monitoreo del mezclador A de la planta 2 entre la semana 41 y 52. Fuente: datos de la Planta de Producción de Concreto RCC

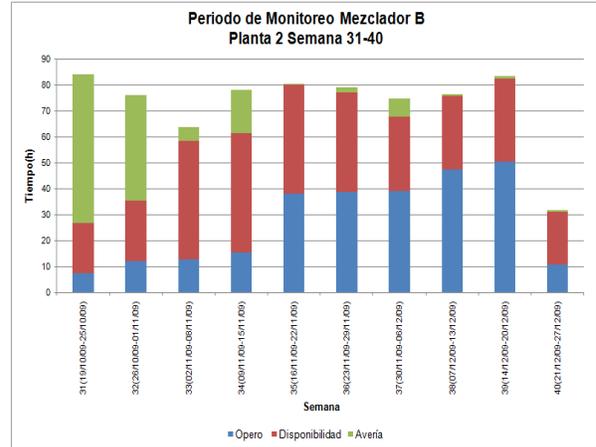


Figura 142. Gráfico del periodo de monitoreo del mezclador B de la planta 2 entre la semana 31 y 40. Fuente: datos de la Planta de Producción de Concreto RCC

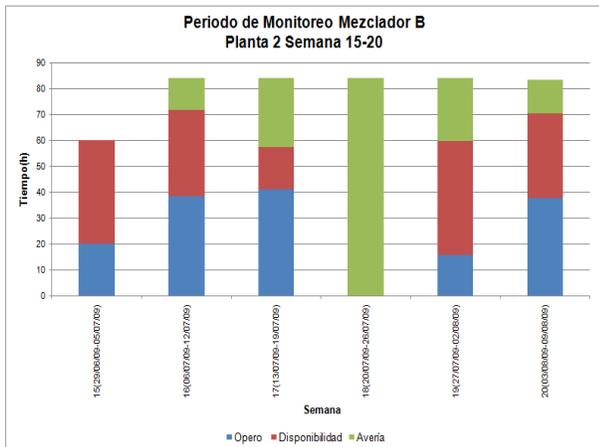


Figura 140. Gráfico del periodo de monitoreo del mezclador B de la planta 2 entre la semana 15 y 20. Fuente: datos de la Planta de Producción de Concreto RCC

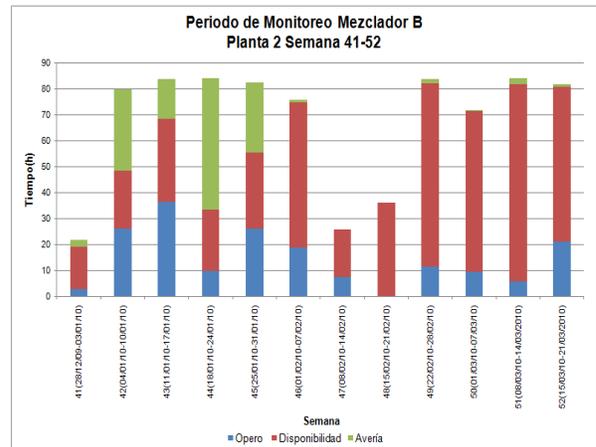


Figura 143. Gráfico del periodo de monitoreo del mezclador B de la planta 2 entre la semana 41 y 52. Fuente: datos de la Planta de Producción de Concreto RCC

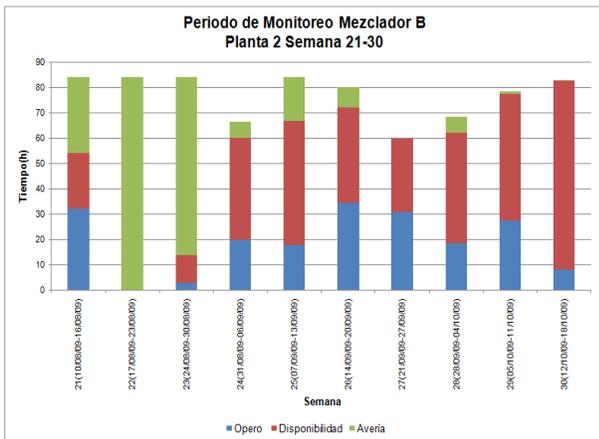


Figura 141. Gráfico del periodo de monitoreo del mezclador B de la planta 2 entre la semana 21 y 30. Fuente: datos de la Planta de Producción de Concreto RCC

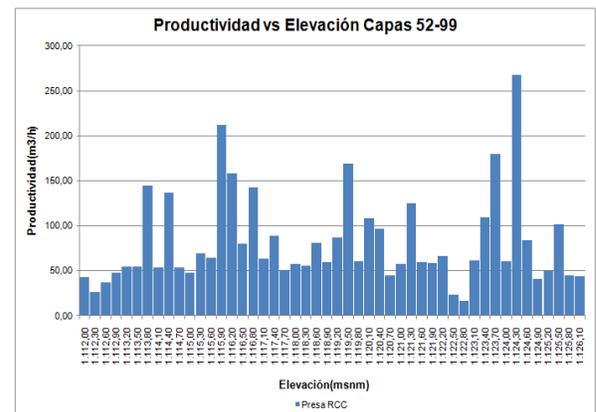


Figura 144. Gráfico de concreto colocado por hora (productividad) contra elevación, capas 52(1112,00 msnm) a la 99(1126,10 msnm). Fuente: datos de Departamento de Planeamiento y Control

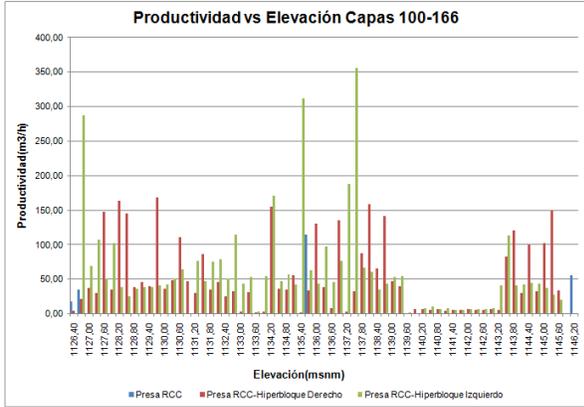


Figura 145. Gráfico de concreto colocado por hora (productividad) contra elevación, capas 100(1126,40 msnm) a la 166(1146,20 msnm). Fuente: datos de Departamento de Planeamiento y Control

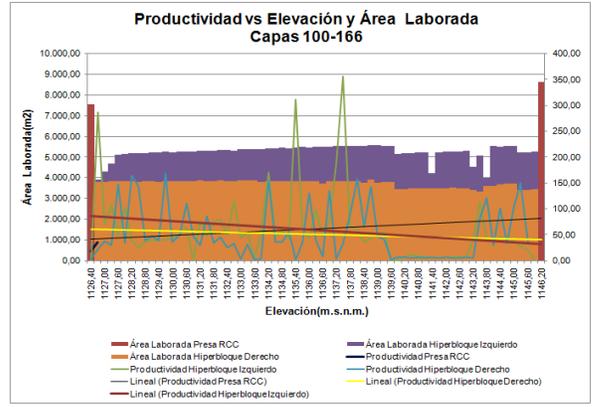


Figura 148. Gráfico de concreto colocado por hora (productividad) contra elevación y área laborada, capas 100 a 166. Fuente: datos de Departamento de Planeamiento y Control e Oficina de Ingeniería

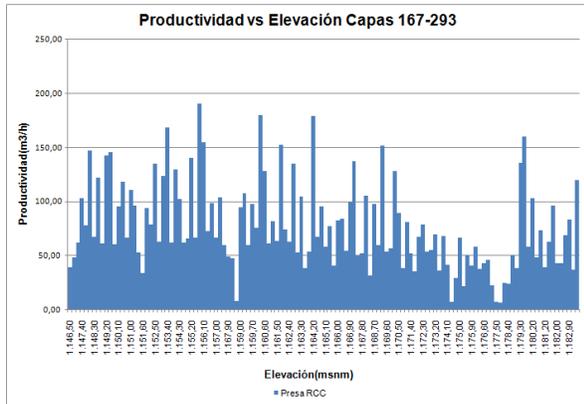


Figura 146. Gráfico de concreto colocado por hora (productividad) contra elevación, capas 167(1146,50 msnm) a la 293(1182,90 msnm). Fuente: datos de Departamento de Planeamiento y Control

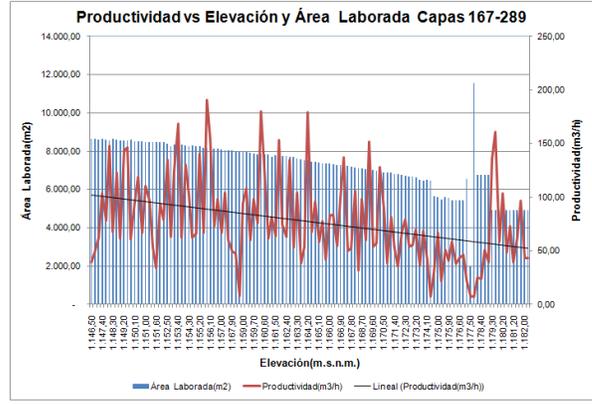


Figura 149. Gráfico de concreto colocado por hora (productividad) contra elevación y área laborada, capas 167 a 289. Fuente: datos de Departamento de Planeamiento y Control e Oficina de Ingeniería

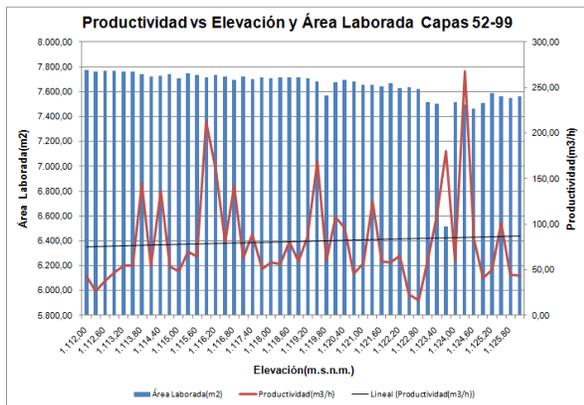


Figura 147. Gráfico de concreto colocado por hora (productividad) contra elevación y área laborada, capas 52 a 99. Fuente: datos de Departamento de Planeamiento y Control e Oficina de Ingeniería

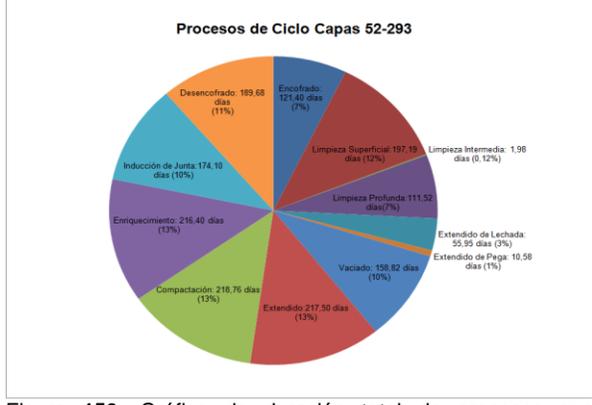


Figura 150. Gráfico de duración total de procesos que conforman el ciclo de las capas de RCC 52-293. Fuente: datos del formulario F-08

CUADRO 33. COMPARACIÓN ENTRE VALORES TOTALES DE CONCRETO RCC COLOCADO		
Concreto Colocado(m <sup>3</sup> ) Reporte Diario	Concreto Colocado(m <sup>3</sup> ) F-08	m <sup>3</sup> de Diferencia F-08 vs Reporte Diario
567.576,43	543.465,81	-21.441,12

Fuente: datos del formulario F-08 y de Oficina de Planeamiento y Control

## Concreto compactado con rodillo: muestreo

En esta sección se presentan datos de rendimientos y producción, obtenidos al realizar las mediciones en campo con el fin de aplicar las tres técnicas de medición de productividad. Éstos fueron capturados entre el 24/02/2010 y el 24/03/2010

CUADRO 34. RENDIMIENTO OBTENIDO EN TRATAMIENTO DE JUNTAS: LIMPIEZA SUPERFICIAL MÉTODO ASPIRACIÓN							
Variable		Tamaño	Media	Mediana	Mínimo	Máximo	Varianza
Descripción	Unidad	Muestra					
Área Tratada	m <sup>2</sup> /h	8	415,325	303,506	52,308	941,538	116.329,833
Horas Equipo/m <sup>2</sup>	he/m <sup>2</sup>	8	0,009	0,001	0,000	0,057	0,000
HH Artesano/m <sup>2</sup>	hh/m <sup>2</sup>	8	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
HH Ayudante/m <sup>2</sup>	hh/m <sup>2</sup>	8	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
HH Peón/m <sup>2</sup>	hh/m <sup>2</sup>	8	0,040	0,028	0,009	0,096	0,001

Fuente: elaboración propia

CUADRO 34 (Cont.). RENDIMIENTO OBTENIDO EN TRATAMIENTO DE JUNTAS: LIMPIEZA SUPERFICIAL MÉTODO ASPIRACIÓN						
Desviación	Error	Distribución		Simulación		
Estandar	Estandar	Probabilidad		Media	Error	%Error
341,072	120,587	Normal ( 415,325 , 341,072 )		406,803	8,523	2,05%
0,020	0,007					
0,000	0,000					
0,000	0,000					
0,035	0,013					

Fuente: elaboración propia



Figura 151. Gráfico de área tratada en limpieza superficial con el método aspiración, basado en el muestreo en campo. Fuente: elaboración propia

<b>CUADRO 35. RENDIMIENTO OBTENIDO EN TRATAMIENTO DE JUNTAS: LIMPIEZA PROFUNDA LAVADO ALTA PRESIÓN</b>							
Variable		Tamaño	Media	Mediana	Mínimo	Máximo	Varianza
Descripción	Unidad	Muestra					
Área Tratada	m <sup>2</sup> /h	4	374,111	391,650	233,143	480,000	15.321,112
Horas Equipo/m <sup>2</sup>	he/m <sup>2</sup>	4	0,005	0,004	0,002	0,009	0,000
HH Artesano/m <sup>2</sup>	hh/m <sup>2</sup>	4	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
HH Ayudante/m <sup>2</sup>	hh/m <sup>2</sup>	4	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
HH Peón/m <sup>2</sup>	hh/m <sup>2</sup>	4	0,016	0,013	0,010	0,026	0,000

Fuente: elaboración propia

<b>CUADRO 35(Cont.). RENDIMIENTO OBTENIDO EN TRATAMIENTO DE JUNTAS: LIMPIEZA PROFUNDA LAVADO ALTA PRESIÓN</b>						
Desviación	Error	Distribución		Simulación		
Estandar	Estandar	Probabilidad		Media	Error	%Error
123,778	61,889	Normal ( 374,111 , 123,778 )		373,237	0,874	0,23%
0,003	0,002					
0,000	0,000					
0,000	0,000					
0,007	0,004					

Fuente: elaboración propia

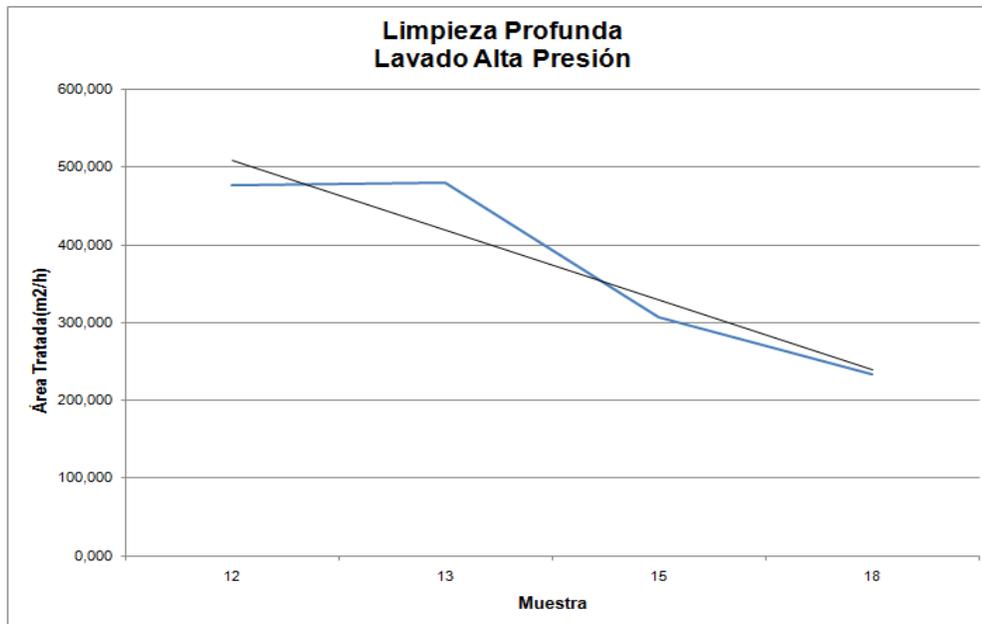


Figura 152. Gráfico de área tratada en limpieza profunda con lavado de alta presión, basado en el muestreo en campo. Fuente: elaboración propia

**CUADRO 36. RENDIMIENTO OBTENIDO EN COLOCACIÓN RCC: VACIADO CON VAGONETA**

Variable		Tamaño	Media	Mediana	Mínimo	Máximo	Varianza
Descripción	Unidad	Muestra					
Concreto Vaciado	m <sup>3</sup> /h	16	388,864	420,000	160,000	480,000	7.743,085
Horas Equipo/m <sup>3</sup>	he/m <sup>3</sup>	16	0,007	0,006	0,004	0,019	0,000
HH Artesanos/m <sup>3</sup>	hh/m <sup>3</sup>	16	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
HH Ayudante/m <sup>3</sup>	hh/m <sup>3</sup>	16	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
HH Peón/m <sup>3</sup>	hh/m <sup>3</sup>	16	0,007	0,003	0,002	0,019	0,000

Fuente: elaboración propia

**CUADRO 36(Cont.). RENDIMIENTO OBTENIDO EN COLOCACIÓN RCC: VACIADO CON VAGONETA**

Desviación	Error	Distribución	Simulación		
Estandar	Estandar	Probabilidad	Media	Error	%Error
87,995	21,999	Normal ( 388,864 , 87,995 )	390,571	-1,707	-0,44%
0,004	0,001				
0,000	0,000				
0,000	0,000				
0,006	0,001				

Fuente: elaboración propia

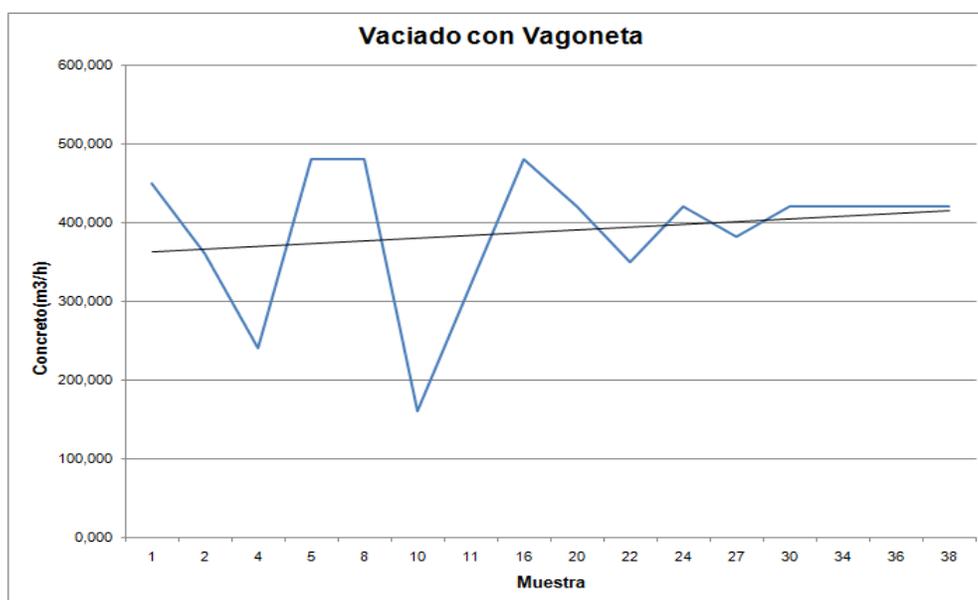


Figura 153. Gráfico de concreto vaciado con vagoneta, basado en el muestreo en campo. Fuente: elaboración propia

<b>CUADRO 37. RENDIMIENTO OBTENIDO EN COLOCACIÓN RCC: VACIADO CON BANDA</b>							
Variable		Tamaño	Media	Mediana	Mínimo	Máximo	Varianza
Descripción	Unidad	Muestra					
Concreto Vaciado	m <sup>3</sup> /h	6	207,308	201,923	140,000	280,000	2.221,269
Horas Equipo/m <sup>3</sup>	he/m <sup>3</sup>	6	0,005	0,005	0,004	0,007	0,000
HH Artesanos/m <sup>3</sup>	hh/m <sup>3</sup>	6	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
HH Ayudante/m <sup>3</sup>	hh/m <sup>3</sup>	6	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
HH Peón/m <sup>3</sup>	hh/m <sup>3</sup>	6	0,003	0,002	0,000	0,007	0,000

Fuente: elaboración propia

<b>CUADRO 37(Cont.). RENDIMIENTO OBTENIDO EN COLOCACIÓN RCC: VACIADO CON BANDA</b>						
Desviación	Error	Distribución		Simulación		
Estandar	Estandar	Probabilidad		Media	Error	%Error
47,130	19,241	Normal ( 207,308 , 47,130 )		208,162	-0,854	-0,41%
0,001	0,000					
0,000	0,000					
0,000	0,000					
0,003	0,001					

Fuente: elaboración propia

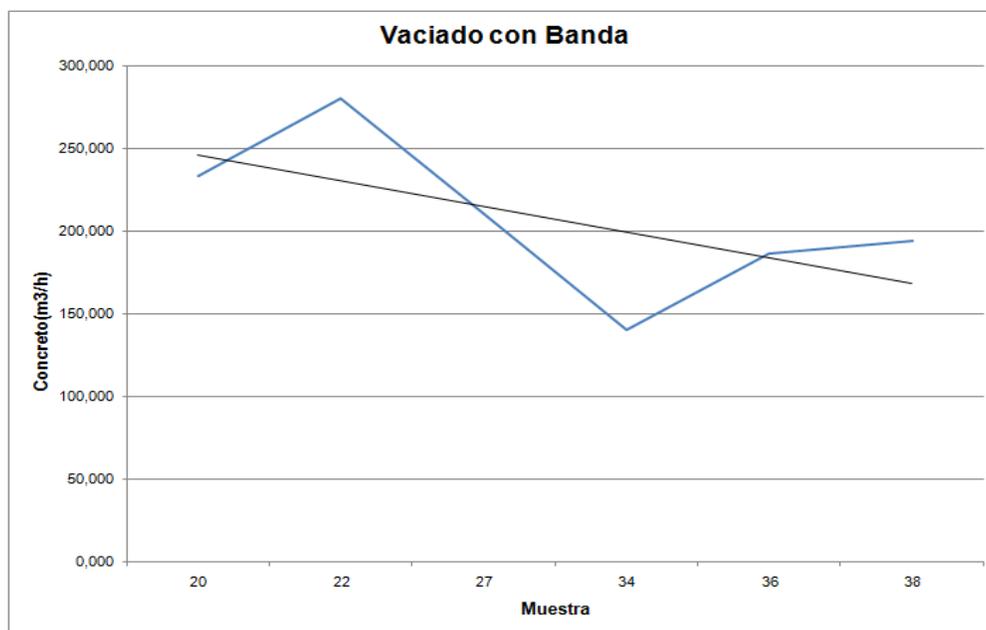


Figura 154. Gráfico de concreto vaciado con banda, basado en el muestreo en campo. Fuente: elaboración propia

<b>CUADRO 38. RENDIMIENTO OBTENIDO EN COLOCACIÓN RCC: EXTENDIDO</b>							
Variable		Tamaño	Media	Mediana	Mínimo	Máximo	Varianza
Descripción	Unidad	Muestra					
Concreto Extendido	m <sup>3</sup> /h	15	152,924	147,692	30,000	384,000	7.964,935
Horas Equipo/m <sup>3</sup>	he/m <sup>3</sup>	15	0,010	0,008	0,003	0,033	0,000
HH Artesanos/m <sup>3</sup>	hh/m <sup>3</sup>	15	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
HH Ayudante/m <sup>3</sup>	hh/m <sup>3</sup>	15	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
HH Peón/m <sup>3</sup>	hh/m <sup>3</sup>	15	0,027	0,019	0,000	0,090	0,001

Fuente: elaboración propia

<b>CUADRO 38(Cont.). RENDIMIENTO OBTENIDO EN COLOCACIÓN RCC: EXTENDIDO</b>						
Desviación	Error	Distribución		Simulación		
Estandar	Estandar	Probabilidad		Media	Error	%Error
89,246	23,043	Normal ( 152,924 , 89,246 )		159,027	-6,103	-3,99%
0,007	0,002					
0,000	0,000					
0,000	0,000					
0,024	0,006					

Fuente: elaboración propia

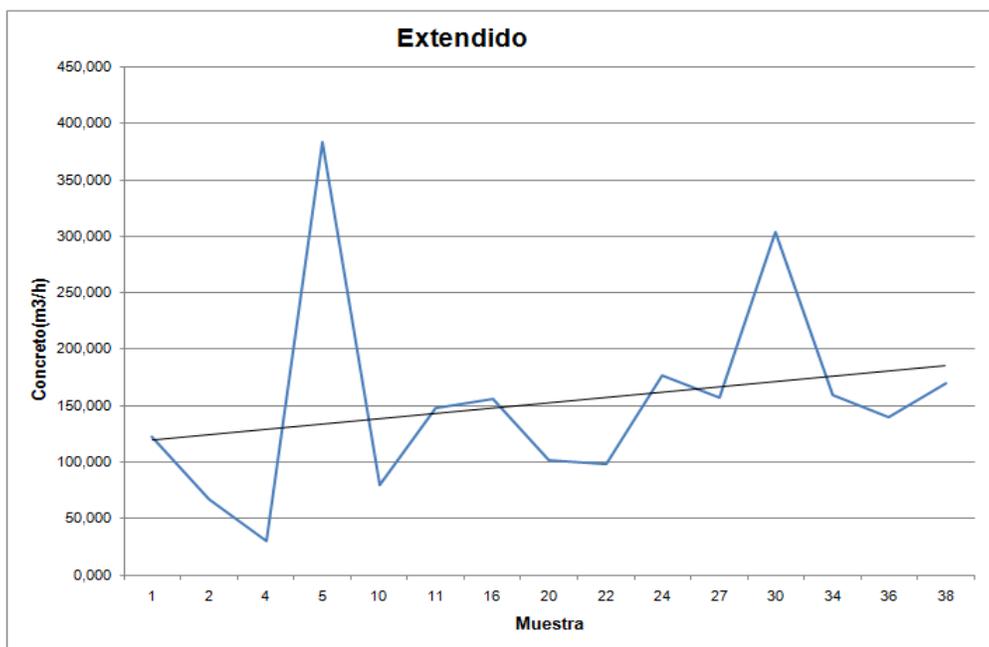


Figura 155. Gráfico de extendido de concreto, basado en el muestreo en campo. Fuente: Elaboración propia

<b>CUADRO 39. RENDIMIENTO OBTENIDO EN COLOCACIÓN RCC: COMPACTACIÓN</b>							
Variable		Tamaño	Media	Mediana	Mínimo	Máximo	Varianza
Descripción	Unidad	Muestra					
Concreto Compactado	m <sup>3</sup> /h	12	298,822	286,667	105,000	685,714	31.427,623
Horas Equipo/m <sup>3</sup>	he/m <sup>3</sup>	12	0,007	0,006	0,001	0,017	0,000
HH Artesanos/m <sup>3</sup>	hh/m <sup>3</sup>	12	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
HH Ayudante/m <sup>3</sup>	hh/m <sup>3</sup>	12	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
HH Peón/m <sup>3</sup>	hh/m <sup>3</sup>	12	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

Fuente: elaboración propia

<b>CUADRO 39 (Cont.). RENDIMIENTO OBTENIDO EN COLOCACIÓN RCC: COMPACTACIÓN</b>						
Desviación	Error	Distribución		Simulación		
Estandar	Estandar	Probabilidad		Media	Error	%Error
177,278	51,176	Normal ( 298,822 , 177,278 )		290,947	7,875	2,64%
0,004	0,001					
0,000	0,000					
0,000	0,000					
0,000	0,000					

Fuente: elaboración propia

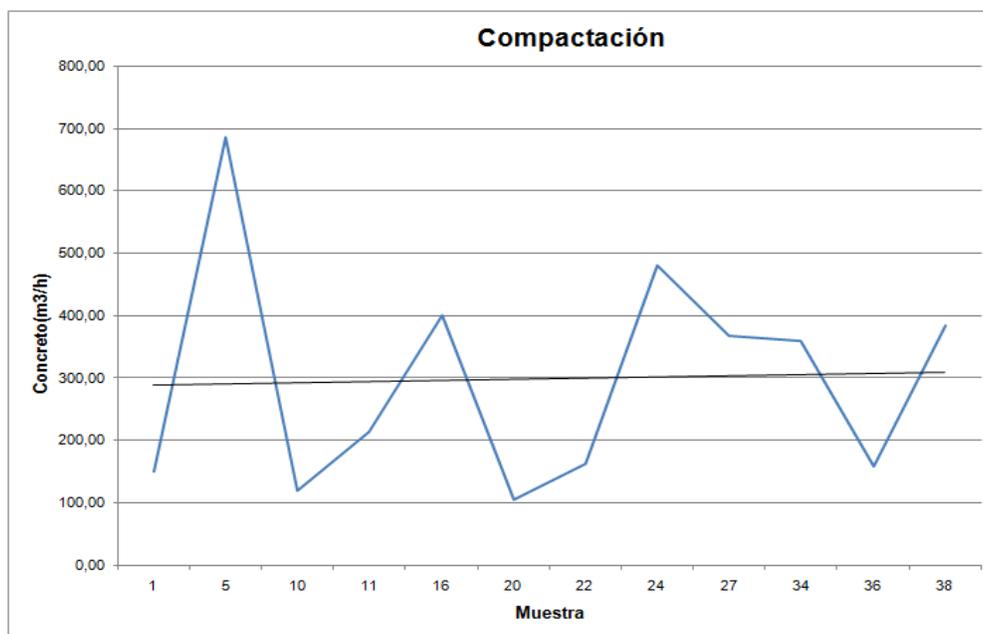


Figura 156. Gráfico de compactación de concreto, basado en el muestreo en campo. Fuente: elaboración propia

<b>CUADRO 40. RENDIMIENTO OBTENIDO EN COLOCACIÓN RCC: ENRIQUECIMIENTO</b>							
<b>Variable</b>		<b>Tamaño</b>	<b>Media</b>	<b>Mediana</b>	<b>Mínimo</b>	<b>Máximo</b>	<b>Varianza</b>
<b>Descripción</b>	<b>Unidad</b>	<b>Muestra</b>					
Longitud	m/h	16	65,904	58,923	24,400	115,324	694,610
Horas Equipo/m	he/m	16	0,022	0,016	0,000	0,118	0,001
HH Artesanos/m	hh/m	16	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
HH Ayudante/m	hh/m	16	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
HH Peón/m	hh/m	16	0,083	0,072	0,000	0,212	0,004

Fuente: elaboración propia

<b>CUADRO 40(Cont.). RENDIMIENTO OBTENIDO EN COLOCACIÓN RCC: ENRIQUECIMIENTO</b>							
<b>Desviación</b>	<b>Error</b>	<b>Distribución</b>			<b>Simulación</b>		
<b>Estandar</b>	<b>Estandar</b>	<b>Probabilidad</b>			<b>Media</b>	<b>Error</b>	<b>%Error</b>
26,355	6,589	Normal ( 65,904 , 26,355 )			65,273	0,632	0,96%
0,028	0,007						
0,000	0,000						
0,000	0,000						
0,064	0,016						

Fuente: elaboración propia

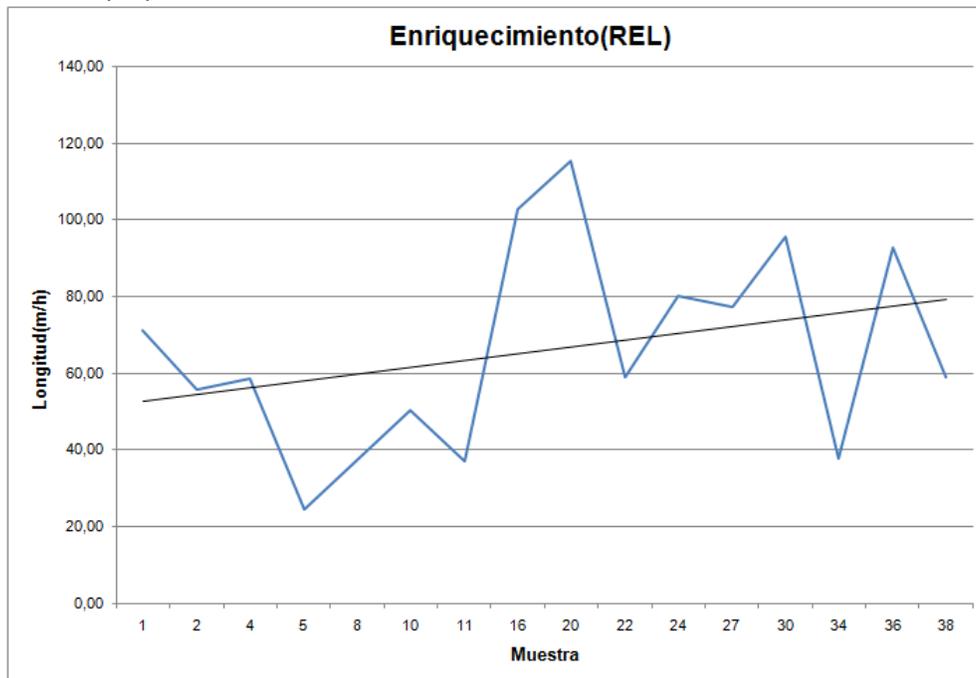


Figura 157. Gráfico de longitud enriquecida con REL, basado en el muestreo en campo. Fuente: elaboración propia

<b>CUADRO 41. RENDIMIENTO OBTENIDO EN: INDUCCIÓN DE JUNTA</b>							
Variable		Tamaño	Media	Mediana	Mínimo	Máximo	Varianza
Descripción	Unidad	Muestra					
Longitud	m/h	4	122,551	128,852	76,500	156,000	1.242,754
Horas Equipo/m	he/m	4	0,011	0,011	0,009	0,013	0,000
HH Artesanos/m	hh/m	4	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
HH Ayudante/m	hh/m	4	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
HH Peón/m	hh/m	4	0,018	0,016	0,013	0,026	0,000

Fuente: elaboración propia

<b>CUADRO 41(Cont.). RENDIMIENTO OBTENIDO EN: INDUCCIÓN DE JUNTA</b>						
Desviación	Error	Distribución		Simulación		
Estandar	Estandar	Probabilidad		Media	Error	%Error
35,253	17,626	Normal ( 122,551 , 35,253 )		123,289	-0,738	-0,60%
0,002	0,001					
0,000	0,000					
0,000	0,000					
0,006	0,004					

Fuente: elaboración propia

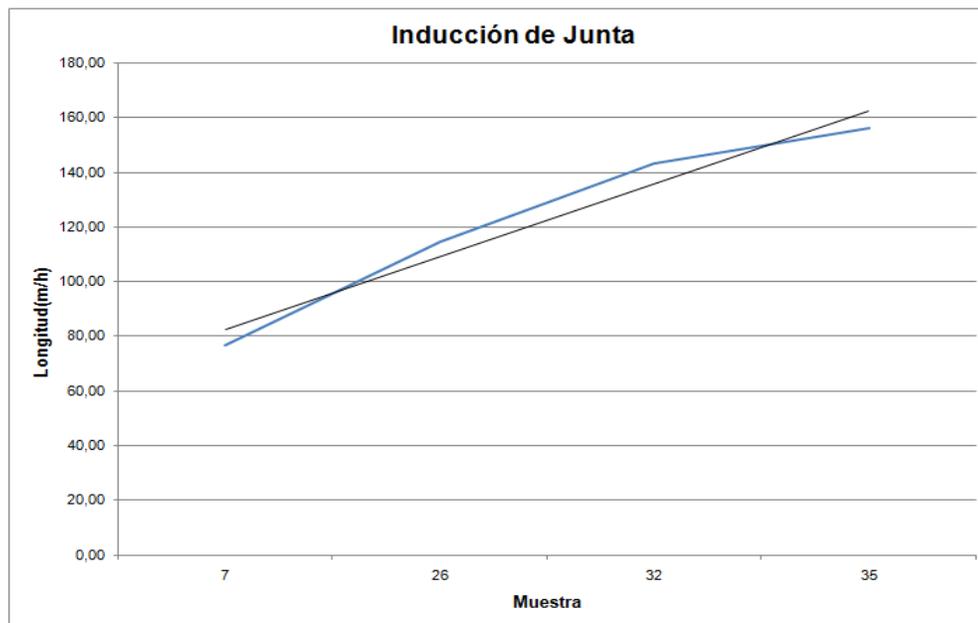


Figura 158. Gráfico de longitud abarcada en inducción de juntas, basado en el muestreo en campo. Fuente: elaboración propia

<b>CUADRO 42. RENDIMIENTO OBTENIDO EN: ENCOFRADO DE PARAMENTOS FORMALETA DOKA</b>							
Variable		Tamaño	Media	Mediana	Mínimo	Máximo	Varianza
Descripción	Unidad	Muestra					
Área Encofrada	m <sup>2</sup> /h	5	34,013	18,689	17,224	69,714	540,963
Horas Equipo/m	he/m <sup>2</sup>	5	0,024	0,022	0,019	0,033	0,000
HH Artesanos/m	hh/m <sup>2</sup>	5	0,161	0,131	0,116	0,214	0,002
HH Ayudante/m	hh/m <sup>2</sup>	5	0,177	0,161	0,129	0,268	0,003
HH Peón/m	hh/m <sup>2</sup>	5	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

Fuente: elaboración propia

<b>CUADRO 42(Cont.). RENDIMIENTO OBTENIDO EN: ENCOFRADO DE PARAMENTOS FORMALETA DOKA</b>							
Desviación	Error	Distribución			Simulación		
Estandar	Estandar	Probabilidad			Media	Error	%Error
23,259	10,401	Normal ( 34,013 , 23,259 )			33,945	0,069	0,20%
0,005	0,002						
0,049	0,020						
0,053	0,024						
0,000	0,000						

Fuente: elaboración propia

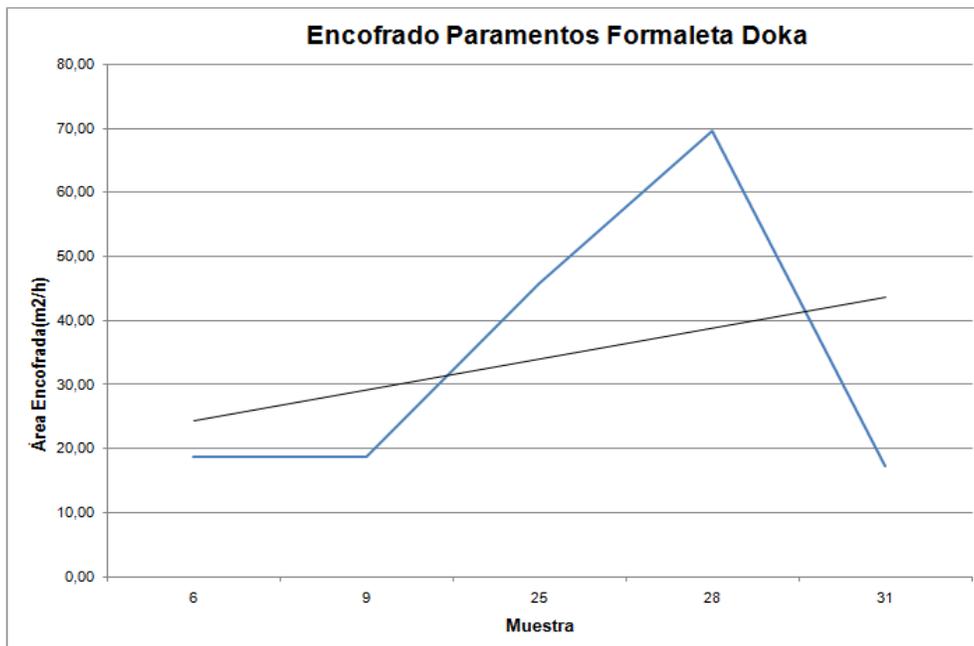


Figura 159. Gráfico de área encofrada en paramentos con formaleta Doka, basado en el muestreo en campo. Fuente: elaboración propia

<b>CUADRO 43. RENDIMIENTO OBTENIDO EN: DESENCOFRADO DE PARAMENTOS FORMALETA DOKA</b>							
Variable		Tamaño	Media	Mediana	Mínimo	Máximo	Varianza
Descripción	Unidad	Muestra					
Área Desencofrada	m <sup>2</sup> /h	3	25,969	28,335	15,411	34,160	92,087
Horas Equipo/m	he/m <sup>2</sup>	3	0,015	0,018	0,007	0,019	0,000
HH Artesanos/m	hh/m <sup>2</sup>	3	0,212	0,176	0,069	0,389	0,027
HH Ayudante/m	hh/m <sup>2</sup>	3	0,219	0,176	0,092	0,389	0,024
HH Peón/m	hh/m <sup>2</sup>	3	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

Fuente: elaboración propia

<b>CUADRO 43(Cont.). RENDIMIENTO OBTENIDO EN: DESENCOFRADO DE PARAMENTOS FORMALETA DOKA</b>						
Desviación	Error	Distribución		Simulación		
Estandar	Estandar	Probabilidad		Media	Error	%Error
9,596	5,540	Normal ( 25,969 , 9,596 )		25,784	0,184	0,71%
0,007	0,004					
0,163	0,094					
0,153	0,089					
0,000	0,000					

Fuente: elaboración propia

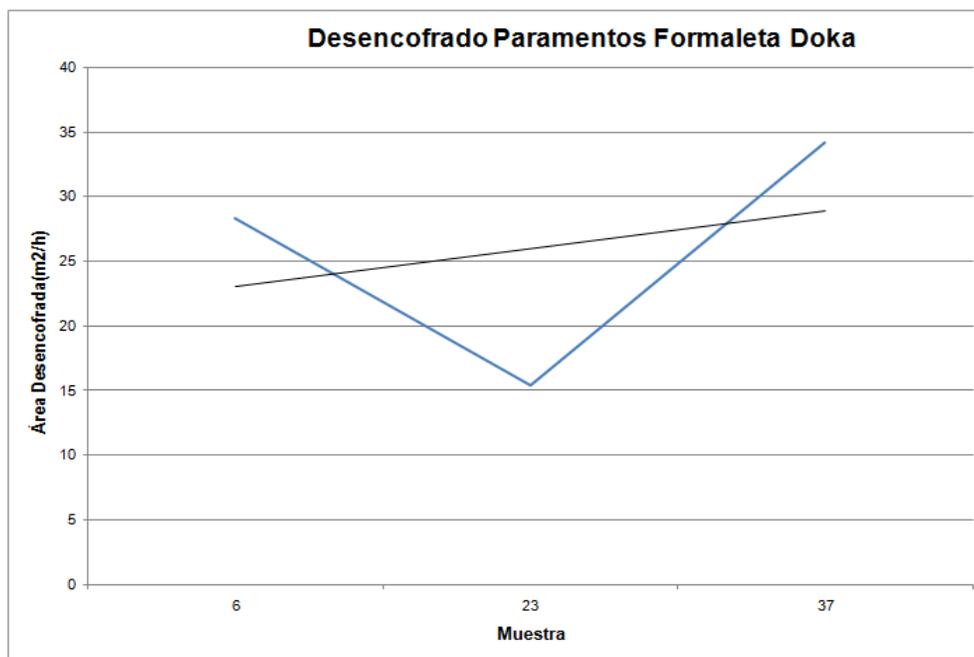


Figura 160. Gráfico de área desencofrada en paramentos con formaleta Doka, basado en el muestreo en campo. Fuente: elaboración propia

CUADRO 44. RESUMEN DE RENDIMIENTOS EN MUESTREO DE RCC							
Operación	Descripción de Proceso	Unidad	Rendimiento	Mano de Obra			Equipo
				Artesanos	Ayudante	Peones	
Tratamiento de Juntas	Limpieza Superficial Método Aspiración	m <sup>2</sup> /h	415,33	0	0	8	1
	Limpieza Profunda Lavado Alta Presión	m <sup>2</sup> /h	374,11	0	0	6	2
Colocación en Sitio	Vaciado Vagoneta RCC	m <sup>3</sup> /h	388,86	0	0	3	3
	Vaciado Banda RCC	m <sup>3</sup> /h	207,31	0	0	1	1
	Extendido RCC	m <sup>3</sup> /h	152,92	0	0	3	2
	Compactación RCC	m <sup>3</sup> /h	298,82	0	0	1	2
	Enriquecimiento RCC(REL)	m/h	65,90	0	0	5	4
	Inducción de Junta	m/h	122,55	0	0	2	2
Trabajos de Formaleta	Encofrado Paramentos(Formaleta Doka)	m <sup>2</sup> /h	34,01	5	6	0	2
	Desencofrado Paramentos(Formaleta Doka)	m <sup>2</sup> /h	25,97	5	5	0	1

Fuente: elaboración propia

## Medición de productividad

A continuación se presenta de forma compacta los resultados obtenidos al aplicar tres técnicas de medición de productividad a procesos y operaciones asociadas con el RCC.

Los datos recopilados corresponden a mediciones de campo realizadas entre el 24/02/2010 y el 24/03/2010.

Es importante aclarar que la información capturada; así como, los gráficos generados para cada una de las muestras, se detallan en el apéndice A de este informe.

CUADRO 45. RESUMEN DE PRODUCTIVIDAD OBTENIDA AL APLICAR LA TÉCNICA DE WORK SAMPLING				
Descripción de Proceso	Tamaño de Muestra	Media	Mínimo	Máximo
Limpieza Superficial Método Aspiración	8	82,54%	73,98%	98,50%
Limpieza Profunda Lavado Alta Presión	4	71,92%	58,33%	77,55%
Colocación de RCC en Sitio <sup>110</sup>	16	50,63%	17,68%	89,62%
Inducción de Junta	4	57,44%	38,93%	89,90%
Encofrado Paramentos (Formaleta Doka)	5	74,68%	66,82%	88,81%
Desencofrado Paramentos (Formaleta Doka)	3	78,60%	67,20%	91,92%

Fuente: elaboración propia

<sup>110</sup> Incluye los procesos de Vaciado con Vagoneta, Vaciado con Banda, Extendido, Compactación y Trabajos de REL

## CUADRO 46. RESUMEN DE PRODUCTIVIDAD OBTENIDA AL APLICAR LA TÉCNICA DE FIVE MINUTE RATING

	Tamaño de Muestra	Media	Mínimo	Máximo
Limpieza Superficial Método Aspiración	8	84,20%	75,60%	98,50%
Limpieza Profunda Lavado Alta Presión	4	70,72%	58,33%	77,13%
Colocación de RCC en Sitio	16	51,69%	18,93%	89,62%
Inducción de Junta	4	55,72%	41,01%	81,28%
Encofrado Paramentos (Formaleta Doka)	5	74,68%	66,82%	88,81%
Desencofrado Paramentos (Formaleta Doka)	3	78,70%	67,20%	92,21%

Fuente: Elaboración propia

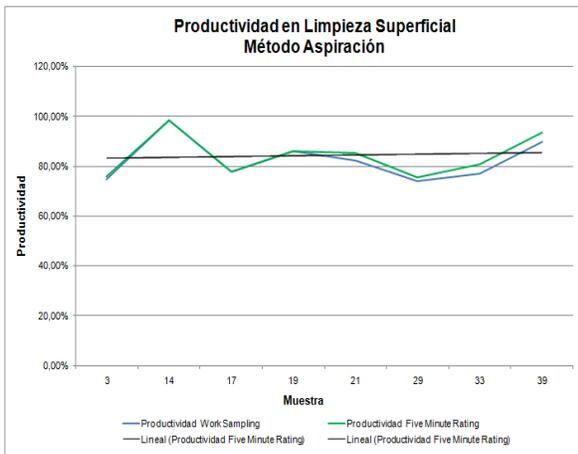


Figura 161. Gráfico de productividad obtenida en el muestreo de campo en Limpieza Superficial utilizando el método Aspiración

Fuente: elaboración propia

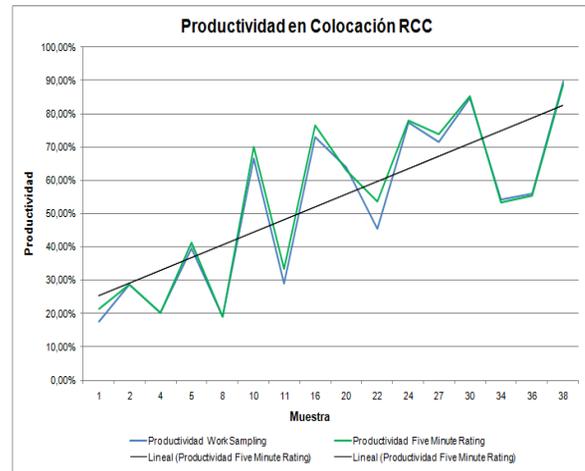


Figura 163. Gráfico de productividad obtenida en el muestreo de campo en Colocación de RCC

Fuente: elaboración propia

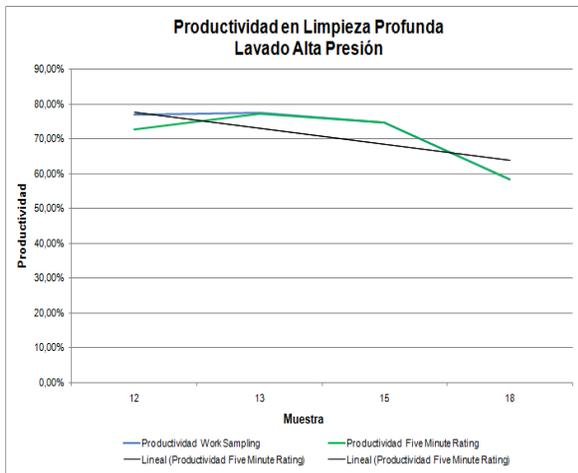


Figura 162. Gráfico de productividad obtenida en el muestreo de campo en Limpieza Profunda mediante el lavado de alta presión

Fuente: elaboración propia

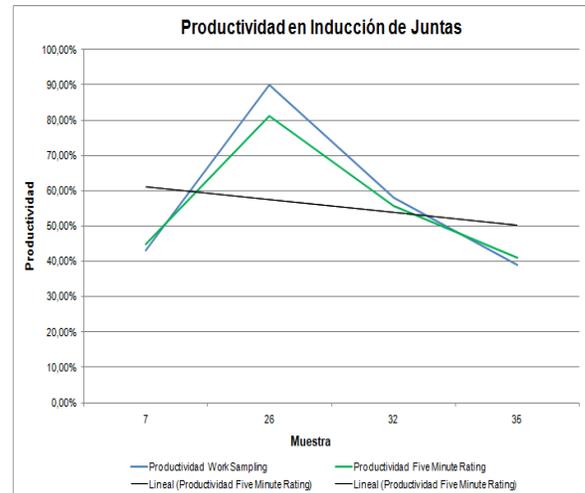


Figura 164. Gráfico de productividad obtenida en el muestreo de campo en Inducción de Juntas

Fuente: elaboración propia

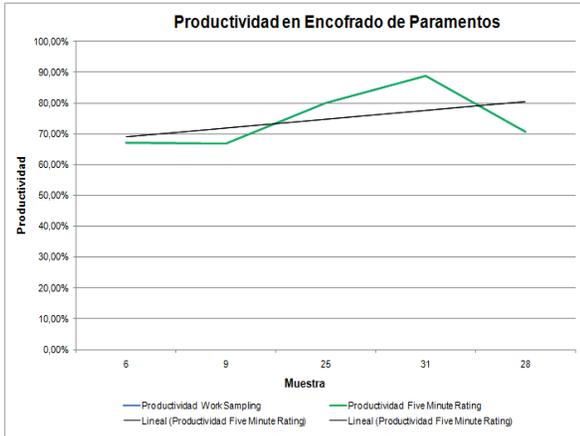


Figura 165. Gráfico de productividad obtenida en el muestreo de campo en Encofrado de Paramentos  
Fuente: elaboración propia

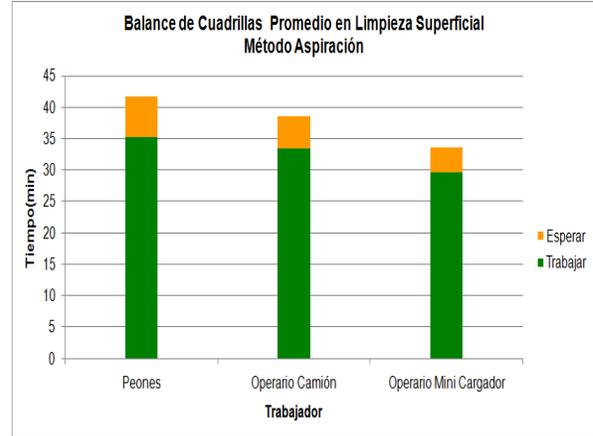


Figura 168. Gráfico de balance de cuadrillas promedio para Limpieza superficial utilizando el método de aspiración  
Fuente: elaboración propia

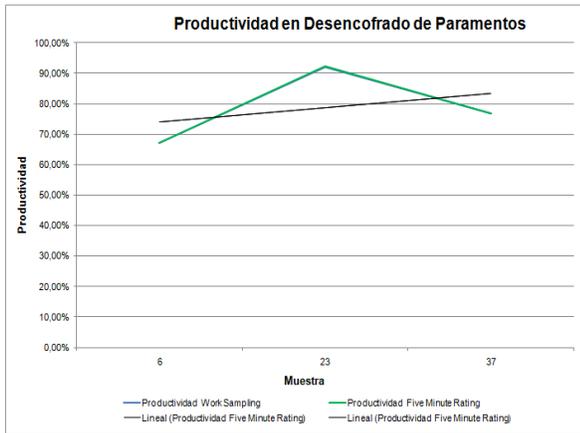


Figura 166. Gráfico de productividad obtenida en el muestreo de campo en Desencofrado de Paramentos  
Fuente: elaboración propia

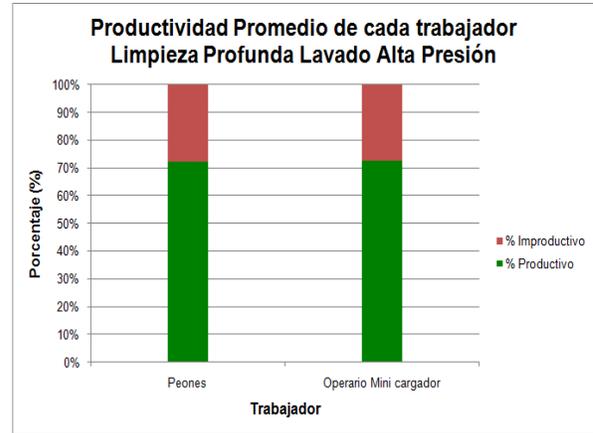


Figura 169. Gráfico de productividad promedio de cada miembro de la cuadrilla para Limpieza Profunda mediante lavado de alta presión  
Fuente: elaboración propia

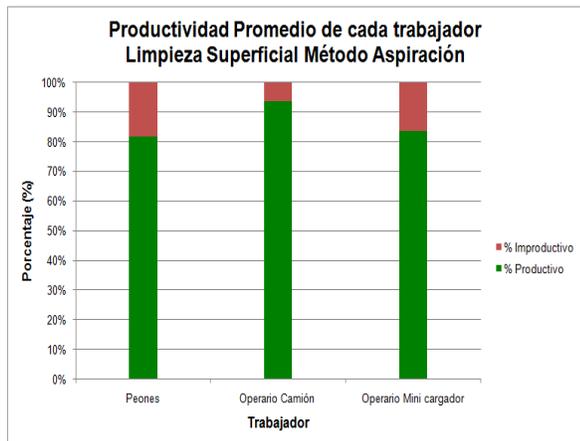


Figura 167. Gráfico de productividad promedio de cada miembro de la cuadrilla para Limpieza superficial utilizando el método de aspiración  
Fuente: elaboración propia

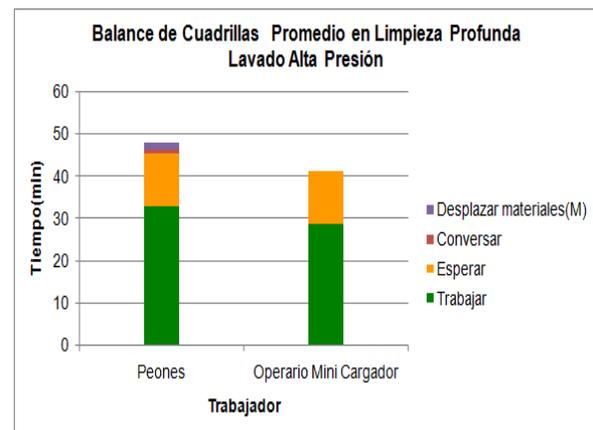


Figura 170. Gráfico de balance de cuadrillas promedio para Limpieza Profunda mediante lavado de alta presión  
Fuente: elaboración propia

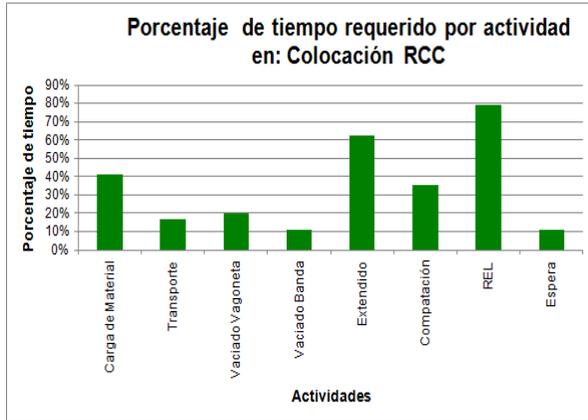


Figura 171. Gráfico de porcentaje de tiempo requerido por actividad en colocación de RCC  
Fuente: elaboración propia

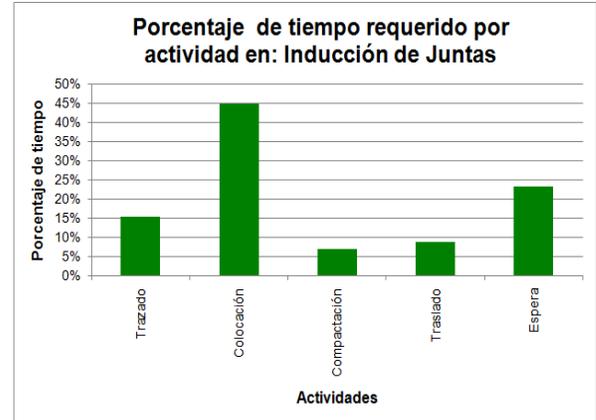


Figura 174. Gráfico de porcentaje de tiempo requerido por actividad en inducción de juntas  
Fuente: Elaboración propia

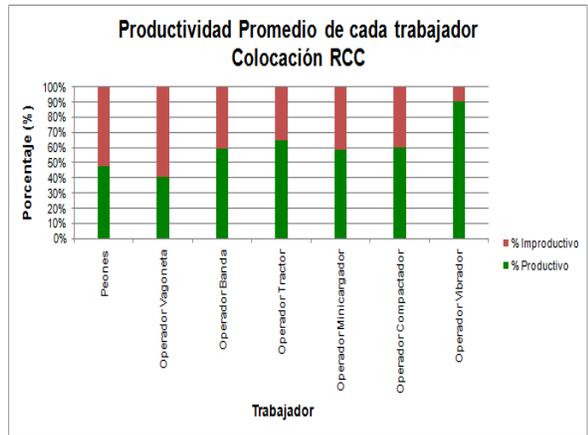


Figura 172. Gráfico de productividad promedio de cada miembro de la cuadrilla para colocación de RCC  
Fuente: elaboración propia

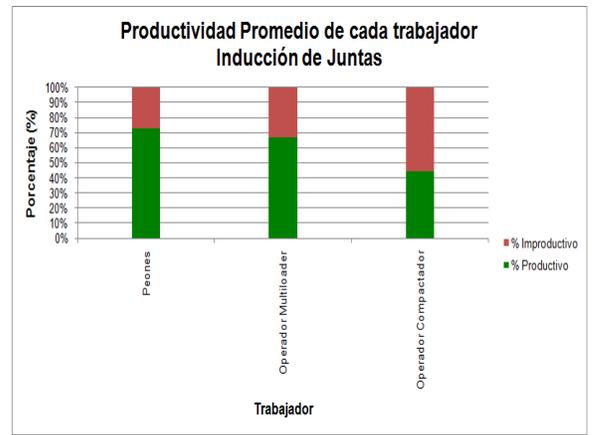


Figura 175. Gráfico de productividad promedio de cada miembro de la cuadrilla para inducción de Juntas  
Fuente: elaboración propia

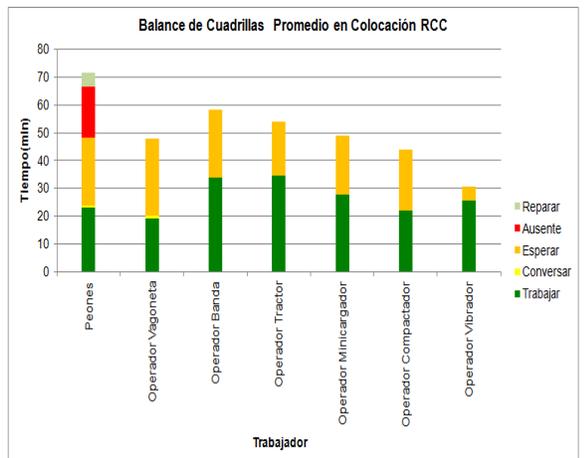


Figura 173. Gráfico de balace de cuadrillas promedio para colocación de RCC  
Fuente: elaboración propia

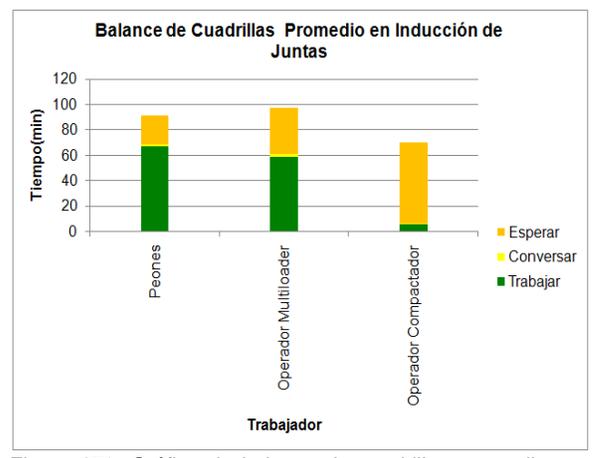


Figura 176. Gráfico de balace de cuadrillas promedio para inducción de Juntas  
Fuente: elaboración propia

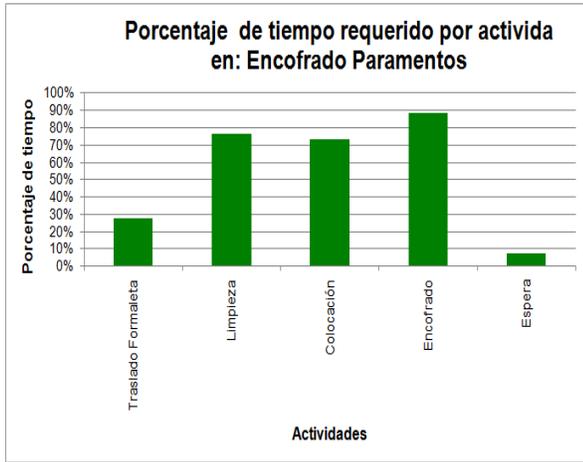


Figura 177. Gráfico de porcentaje de tiempo requerido por actividad en encofrado de paramentos  
Fuente: elaboración propia

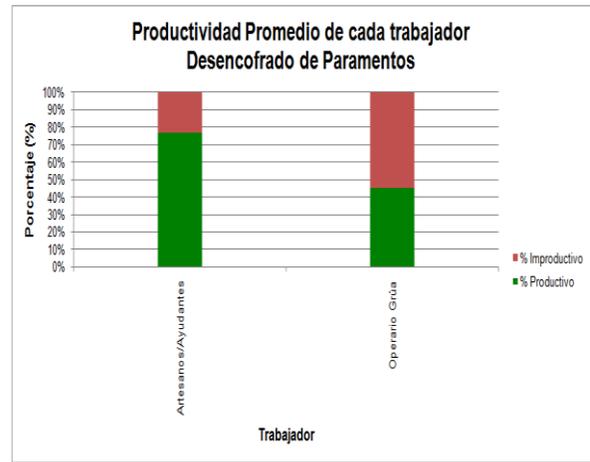


Figura 180. Gráfico de productividad promedio de cada miembro de la cuadrilla para desencofrado de paramentos  
Fuente: elaboración propia

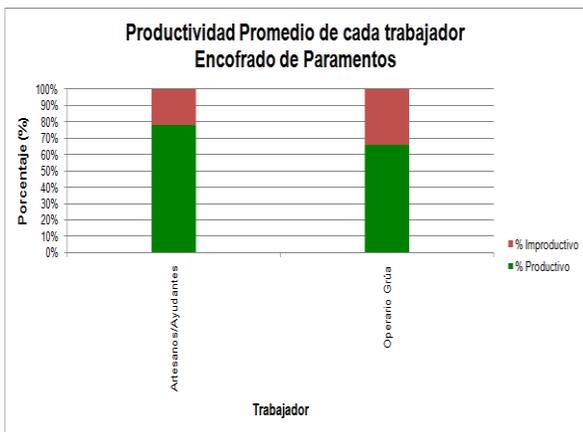


Figura 178. Gráfico de productividad promedio de cada miembro de la cuadrilla para Encofrado de Paramentos  
Fuente: elaboración propia

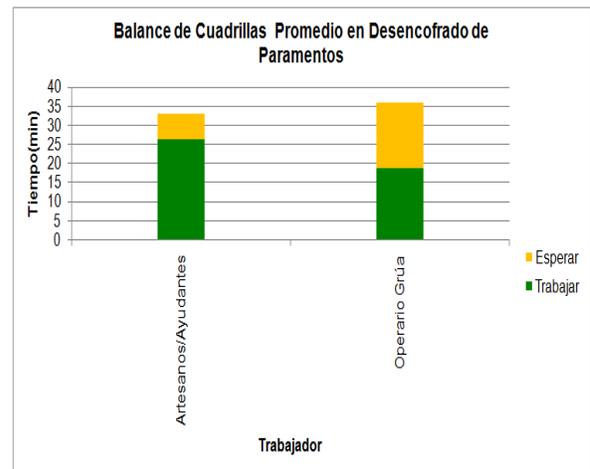


Figura 181. Gráfico de balance de cuadrillas promedio para Desencofrado de Paramentos  
Fuente: elaboración propia

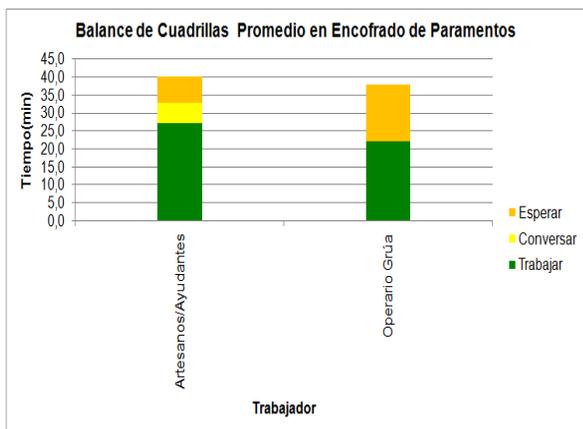


Figura 179. Gráfico de balance de cuadrillas promedio para Encofrado de Paramentos  
Fuente: elaboración propia

# Análisis de los resultados

## Concreto convencional

En la sección de metodología se explicó que para el procesamiento estadístico de la información capturada en los formularios; en este caso el F-01, se realizó una selección manual de los datos que se consideraron más representativos. Los cuadros comprendidos entre el número 8 y el 13 de este informe contienen una serie de variables estadísticas que caracterizan la muestra seleccionada. Éstas corresponden a la media, mediana, valor mínimo, valor máximo, varianza y desviación estándar.

Además, se presentan valores que reflejan la confiabilidad de los datos utilizados en el estudio estadístico; como lo es el error estándar y el porcentaje de error; que resulta de comparar la media obtenida con los datos seleccionados para la muestra, con el resultado obtenido producto de la generación de números aleatorios. Con respecto de este último, se puede comprobar que la muestra fue representativa del total de datos, debido a la semejanza obtenida entre ambos valores de media, para las diferentes operaciones estudiadas, tal y como se explicó en el apartado de metodología.

Al contar con todos los datos, se observó que algunos distaban en gran medida del rango donde se encontraba la mayoría de los valores. Este hecho hizo que se optara por hacer una selección de datos, pues, dichas variaciones pueden deberse a situaciones eventuales que no reflejan las condiciones normales en las cuales se ejecutan las operaciones analizadas. Por ejemplo: que en un día la cantidad de concreto colocado sea menor producto de averías en la planta de producción.

El cuadro 14 resume los valores de rendimiento para cada proceso de las operaciones que involucran concreto convencional; además, muestra la cantidad

promedio de trabajadores y maquinaria necesaria.

Con los gráficos mostrados en las figuras 35 a la 54 se quiso establecer el comportamiento de los procesos en el tiempo, pues, se muestra la tendencia de los datos utilizados en el estudio.

Al analizar las gráficas se puede observar que la mayoría de procesos presentan un aumento en el rendimiento (tendencia creciente); sin embargo, hay excepciones en los siguientes procesos: desencofrado en losas aéreas y en la colocación de concreto para las operaciones relacionadas con losas contrapiso y sustitución. Las causas de esta disminución se desconocen, pues, para este análisis no se realizó una visita al campo sólo se utilizó la información del formulario. Cabe agregar que en éste no se presenta información relevante sobre tiempos improductivos para la presa, que contribuya con una justificación de esta disminución.

## Concreto compactado con rodillo

Las actividades de la presa asociadas al concreto compactado con rodillo y que forman parte del formulario F-08, recibieron el mismo tratamiento estadístico del estudio que se realizó para los procesos y operaciones que involucran concreto convencional.

En este caso los resultados se muestran entre el cuadro 15 y el 31 de este informe. En estos se presentan, al igual que con los datos del F-01, los valores que describen la muestra seleccionada (media, mediana, valor mínimo, valor máximo, varianza y desviación estándar) y reflejan su representatividad respecto de la población (error estándar y porcentaje de error).

En el cuadro 32 se presenta un resumen de los resultados obtenidos para el concreto compactado con rodillo, se muestra el

rendimiento promedio de cada proceso estudiado; así como, la cantidad promedio de peones, artesanos, ayudantes y maquinaria, necesarios para ejecutar las operaciones de la presa que involucran el RCC. Cabe aclarar que los artesanos son aquellos trabajadores que se dedican a la colocación y retiro de todos los elementos relacionados con la formaleta.

En los gráficos de la figuras 55 a 109 se presenta la tendencia del rendimiento de los diferentes procesos que forman parte del F-08; además, se realizaron gráficos que comparan el tiempo laborado contra el tiempo no trabajado, para complementar la información sobre tiempos improductivos, la cual aparece en los datos capturados en el campo.

Con respecto del rendimiento se observan problemas, debido a que éste tiende a decrecer en los siguientes procesos: limpieza superficial ambos métodos, limpieza intermedia, extendido de pega, extendido de lechada, vaciado con vagoneta, enriquecimiento, productividad en vagoneta, encofrado paramentos formaleta mecánica y encofrado galería formaleta tipo Doka.

En relación con la limpieza superficial con ambos métodos y limpieza intermedia, extendido de pega y extendido de lechada; puede atribuirse su decrecimiento al hecho de que las condiciones en las cuales se realiza la colocación de RCC, hacen que no requiera este tipo de tratamiento antes de colocar una siguiente capa.

El vaciado y producción con vagoneta puede justificar su disminución en la productividad; esto porque y como se verá en la sección de indicadores de presa, la tendencia de colocar el concreto directamente de la planta a través de la banda ROTEC aumenta.

Los gráficos de comparación entre tiempo laborado y no trabajado no logran reflejar esta disminución, ya que el tiempo laborado siempre resultó ser mayor. Además la información de tiempos improductivos no permite resolver esta interrogante, debido a que (y como se verá en la sección de resultados de indicadores de presa en la figura 110) la mayor cantidad de tiempos improductivos es por la causa "Otros".

Como se explicó en la sección teórica, el CAP definió como "Otros" aquellos factores que afectan la producción y no están en la lista predefinida. Esto permite justificar lo mencionado en el párrafo anterior, relacionado con la escasa información que se tiene respecto de los factores

que afectan la productividad en los procesos estudiados.

Otra limitante que impide justificar los resultados obtenidos en esta sección, es que para este caso no se realizó ninguna visita al sitio de presa; únicamente se procesó e interpretó la información capturada por los inspectores de campo.

Se considera importante mencionar el hecho de que tanto para esta información como la del F-01, resulta difícil su revisión de forma simultánea a la ejecución de los procesos, ello complica una revisión a tiempo y la toma de decisiones en el caso de que se necesite aplicar medidas correctivas. Lo anterior es un indicio de que para realizar este tipo de ejercicio sería mejor la realización de muestreos.

Lo expuesto en el párrafo anterior no pretende restarles valor a los formularios de captura, los cuales almacenan gran cantidad de información valiosa para el proyecto; pero es precisamente, la extensión de los éstos, lo que dificulta el análisis oportuno de estos datos.

## Indicadores de presa

Según los resultados del F-08, se tiene que para las operaciones y procesos que involucran RCC, existen tres causas para tiempos improductivos, éstas se muestran en el gráfico de la figura 110. La primera, que representa un 50%, es el factor "Otros". En segundo lugar se encuentra las condiciones climáticas extremas con un 35%; el 15% restante, lo representa la falta de agua para la producción de concreto. Tal y como se explicó en el apartado anterior, resulta difícil con dicha información explicar las causas exactas para la disminución en los rendimientos obtenidos para los procesos de RCC analizados.

En la figura 111 se muestra una comparación gráfica entre la cantidad de lluvia mensual y la cantidad de concreto RCC colocado por mes, esto entre marzo del 2009 y febrero del 2010. Puede observarse que en los meses de mayo, junio y octubre del 2009, se registró la mayor cantidad de mm de precipitación mensual, hecho que se refleja en una disminución en la colocación de concreto, en esos mismos meses.

A partir del gráfico de colocación mensual (figura 112) puede observarse que la cantidad de concreto por colocar disminuye de acuerdo con el

avance del proyecto. La constante se presenta en los correspondientes a colocación semanal (figuras 114-118) y diaria (figuras 119-126). Lo anterior se justifica con el hecho de que debido a las configuraciones que posee la presa, ésta ve reducido su ancho conforme se avanza en elevación. Esta condición hace que la cantidad de material que debe colocarse disminuya con el tiempo producto de la reducción que experimenta en su área.

A medida que se reduce el área y la cantidad de concreto colocado, se disminuye el porcentaje de colocación de RCC tipo B. Lo anterior puede comprobarse con el gráfico de la figura 113.

Conforme se avanza en la construcción de la presa, se incrementa la cantidad de concreto que es transportado a través de la banda ROTEC. Este hecho puede confirmarse mediante el gráfico de la figura 127.

Las figuras 128 a 143 muestran el periodo de monitoreo del mezclador A y B (nombre que se le asigna a cada uno de los mezcladores) de las dos plantas utilizadas en la producción de concreto. Este periodo corresponde a la cantidad de horas semanales en que los dos mezcladores de cada planta se encontraban en operación, avería o disponibilidad; es decir, el tiempo en que estaba listo para usarse cuando fuera requerido. Con esta información gráfica, se puede observar que en el caso de la planta 1 el mezclador A fue el que registró un mayor tiempo en operación; la misma condición se presenta en la planta 2.

En los gráficos de las figuras 144 a 146 se muestra la relación entre la elevación y la productividad, para las capas 52 a la 293.

Es importante aclarar que para la relación entre la cantidad de concreto colocado y la duración de cada capa (productividad), se utilizó información de dos fuentes: la cantidad de concreto fue tomado del archivo "*Reportes RCC Marzo 2010*" con el reporte diario de colocación y la duración por capa del formulario F-08.

El formulario F-08 también señala información de la cantidad de material colocado, sin embargo, tal como aparece en el cuadro 33, existen diferencias sustanciales entre éste y el reporte diario, con respecto de este aspecto. Se optó por la información que muestra el segundo, puesto que, se afirma que resultaba la información con mayor grado de confianza.

En relación con los gráficos mencionados en el párrafo trasanterior y los gráficos de las figuras 147, 148 y 149; la información que presentan permite reafirmar la situación descrita para la colocación de RCC mensual, semanal y diaria. Se puede apreciar cómo, conforme se avanza en la elevación de la presa, se reduce la cantidad de área laborada y la colocación de RCC. Además, las figuras 145 y 148 consignan el comportamiento de la presa en el momento en que fue dividida en dos hiperbloques; siendo el izquierdo el que posee un área mayor y, por ende, posee más cantidad de concreto colocado por hora que el derecho.

Con los datos del formulario F-08 se logró establecer el ciclo de trabajo de las capas 52 a la 293 y se obtuvo el gráfico de la figura 150, que corresponde a la cantidad de tiempo y porcentaje, la cual consume cada proceso que involucra el trabajo de una capa de RCC.

## Concreto compactado con rodillo: muestreo

Al realizar la aplicación de las técnicas de campo para medir la productividad de las operaciones y procesos del RCC, se realizó un muestreo de producción con el fin de obtener algunos rendimientos.

La idea inicial consistió en establecer una comparación entre los resultados obtenidos en este muestreo con los generados con el procesamiento estadístico del F-08. Sin embargo, no pudo realizarse debido a que las mediciones que se muestran contemplan únicamente lo observado en el área de colocación de RCC. No se contemplan otros factores como el tiempo de acarreo de las vagonetas cuando se trabaja con el "Chute", ni tiempo de producción de la planta. Es por ello, que lo que se compara es la tendencia del rendimiento de las actividades analizadas.

Es importante aclarar que la limitación descrita en el párrafo anterior, se debe a que la medición de rendimientos no se contempló como objetivo específico del proyecto; por ello el tiempo utilizado en las mediciones de productividad impidieron que se desarrollara un trabajo más amplio en este sentido. Sin embargo, se considera que los resultados obtenidos son un

parámetro adecuado de comparación; ya que como se mencionará, algunos procesos coinciden.

Al igual que con los datos del formulario F-08 y F-01 se hizo un estudio estadístico con la información recopilada en el muestreo de campo. En los cuadros 34 a 43 se presentan las variables estadísticas que describen la muestra e indican la confiabilidad de los datos.

Los procesos que lograron ser analizados corresponden a limpieza superficial con el método de aspiración; la limpieza profunda con el método de lavado alta presión; el vaciado con vagoneta y con banda; los procesos de extendido y compactación de concreto; enriquecimiento con lechada; inducción de junta; además, el encofrado y desencofrado de paramentos, con formaleta DOKA.

Las figuras 151 a 160 corresponden a gráficos que muestran la tendencia del rendimiento de estos procesos. Al compararlos con los resultados obtenidos para el F-08, se coincide en la tendencia creciente de rendimiento en los procesos de extendido y compactación de concreto, inducción de junta y en el encofrado y desencofrado de paramentos utilizando formaleta DOKA.

La descarga directa de concreto a través de la banda transportadora, depende del sitio donde se necesite colocar este material. Lo anterior se debe a que el acceso al lugar de colocación está limitado por el radio del trabajo del Crawler. Durante las mediciones fueron escasas las oportunidades en las cuales no se necesitara de vagonetas para transportar el concreto al sitio requerido. Esto permite justificar que en el vaciado con banda la tendencia del rendimiento es a decrecer (figura 154) y en el vaciado con vagoneta (figura 153) a crecer en el tiempo.

La cantidad promedio de peones, artesanos, ayudantes y equipo necesaria para cada proceso se refleja en el cuadro 44. Si se comparan los valores obtenidos en el muestreo con los que se tienen producto del análisis del F-08, se presentan diferencias en especial, con la cantidad de mano de obra requerida por proceso.

Una de las diferencias más notables es que en las mediciones de campo realizadas sólo se cuenta con artesanos y ayudantes para los trabajos de formaleta; mientras que en los datos del formulario, estos empleados aparecen en

todos los procesos. Esta situación resulta contradictoria, pues en el momento de la toma de datos se les preguntó a los inspectores acerca de la conformación de las cuadrillas y éstos indicaron que para el encofrado y desencofrado sólo trabajaban artesanos y ayudantes debido a lo específico de la actividad.

A pesar de lo anterior, es importante agregar que la cantidad de peones promedio requerida para ejecutar los diferentes procesos de RCC (en actividades no relacionadas con trabajos de formaleta) analizados es similar entre los datos del muestreo y los del formulario.

Además, es importante mencionar que durante la toma de datos en campo se observó que algunos inspectores no conocían del proceso constructivo. Esta situación debe revisarse, pues los reportes que brindan son importantes para el control de la obra.

## Medición de productividad

Para este estudio se aplicaron en el campo tres técnicas de medición de productividad: "Work Sampling", "Five Minute Rating" y "Crew Balance". En total se realizaron 39 muestras de los diferentes procesos de RCC en un periodo de un mes.

Las mediciones se realizaron entre las 06:45 y las 11:20; se ejecutaron a estas horas con el fin de que las condiciones ambientales fueran similares. Además, se quería evitar el factor lluvia que según consultas a inspectores, tenía más posibilidad de presentarse en horas de la tarde. Este fenómeno impediría el muestreo, porque el proceso se detiene en el momento en que se registre una intensidad de lluvia de 2,5 mm por hora, tal y como se indica en el marco teórico de este informe.

Las observaciones fueron realizadas desde la margen derecha de la presa, en un punto lo suficientemente alejado de los trabajadores para evitar que los resultados se vieran afectados, al darse cuenta de que alguna persona externa realizaba mediciones de productividad.

Con respecto de las muestras se tiene que 8 de las 39 corresponden a limpieza superficial con el método de aspiración; 4

pertenecen a limpieza profunda con el método de lavado alta presión; 16 se refieren a la colocación de RCC; 4 a inducción de juntas; 5 pertenecen al encofrado de paramentos y 3 a desencofrado de paramentos.

En los cuadros 45 y 46 se establece un resumen de los valores de productividad obtenidos al aplicar las técnicas de "Work Sampling" y "Five Minute Rating". Se presenta el valor medio, mínimo y máximo del rango de datos utilizado. Puede observarse que los porcentajes obtenidos en los diferentes procesos sometidos a análisis son similares.

En la teoría de productividad, descrita en este informe, se explicó que para procesos de construcción es común obtener valores de productividad en el rango entre 40 y 60 por ciento. Para los casos estudiados se obtuvo que la colocación de RCC e inducción de junta se encuentran dentro de este rango; pero los demás procesos se ubican por encima de este valor. A pesar de estos datos, no puede afirmarse que no puedan realizarse algunos cambios para mejorar la productividad.

Para cada muestra se generó un gráfico que consigna el porcentaje de tiempo requerido para el desarrollo de las actividades del proceso analizado, en el caso de "Work Sampling". Para la técnica "Five Minute Rating" se graficaron los porcentajes de productividad promedio de la cuadrilla de trabajo de cada uno de los procesos estudiados. Además se generó por actividad un gráfico para el "Crew Balance" que describe de forma cualitativa el comportamiento de cada miembro del grupo de trabajadores. Con el fin de facilitar el análisis de la información gráfica obtenida, se elaboraron gráficos resumen por cada proceso analizado.

Las observaciones hechas para limpieza superficial método aspiración, mostraron que el proceso se ejecutó sin complicaciones y su productividad promedio fue mayor al 82 % en las dos técnicas de medición que mide este aspecto de forma porcentual ("Work Sampling" y "Five Minute Rating"). Además, con el gráfico de la figura 161 se observa que la tendencia de la productividad es mantenerse constante en el tiempo.

Los resultados promedio para la segunda técnica pueden apreciarse gráficamente mediante la figura 167. En ésta es notable que el porcentaje productivo (es decir, el tiempo en el cual los trabajadores ejecutan sus labores o

como se explicó en el marco conceptual, el tiempo en que ejecutan trabajo real) es mayor al improductivo (atraso). Lo anterior se presenta para los peones, operarios de camión y del minicargador; quienes conformaron la cuadrilla de trabajo en el tiempo de las mediciones.

El balance de cuadrilla ("Crew Balance") refleja de forma cualitativa los mismos resultados (ver figura 168), pues para los tres tipos de trabajadores el tiempo dedicado a laborar fue mayor al tiempo de espera. Por tiempo de espera se entiende aquel en el que el trabajador no ejecuta su trabajo por hablar con otro, por recibir instrucción o el tiempo en que debe esperar que se termine un proceso para continuar con sus labores.

La productividad en limpieza profunda con lavado de alta presión es menor a la del proceso anterior. Lo anterior se puede observar en los gráficos de las figuras 161 y 162, donde el porcentaje improductivo y los tiempos de espera son mayores que en el caso anterior.

Con el "Work Sampling" se obtuvo un 71,92% y con el "Five Minute Rating" un 70,72%. A pesar de que con ambas técnicas se obtiene un valor mayor al rango donde se encuentran comúnmente las obras de construcción, el gráfico 162 refleja que la productividad tiende a disminuir en el tiempo. Lo anterior contradice el concepto de efecto o curva de aprendizaje explicado en la teoría de productividad. Las mediciones de campo para limpieza profunda mostraron que uno de los factores que puede influir en esta disminución de productividad, es el hecho de que el proceso en algunas ocasiones es detenido por falta de agua. Esta condición se refleja en el balance de cuadrilla mostrado en la figura 170 en el rubro "desplazar materiales". Esto hace que los trabajadores deban esperar a que otro se desplace a lo largo del sitio de construcción, para recargar la hidrolavadora (equipo empleado en este proceso). Este problema observado, constituye un ejemplo de los problemas "viajes excesivos" y "esperas y detenciones", los cuales afectan la productividad de la mano de obra; como se mencionó en la parte teórica de este documento. Esta tendencia decreciente en la productividad permite explicar la disminución en el rendimiento de la actividad que se muestra en el gráfico de la figura 152.

La figura 169 presenta la productividad promedio de la cuadrilla de trabajo observada durante el estudio de este proceso.

Para la colocación de RCC se obtuvo con el "Work Sampling" una productividad del 50,63% y con el "Five Minute Rating" un 51,69%. A pesar de que los valores de rendimiento fueron crecientes para los procesos que involucra la colocación, este valor puede ser producto de los factores que se explican en los párrafos siguientes.

En dos de las 16 muestras se colocó concreto mediante el "Chute" producto de averías en la banda transportadora. Como se explicó en la descripción de los procesos, este hecho provoca atrasos en el trabajo por la distancia de acarreo desde la planta hasta el sitio de colocación. La situación se complica si no existe un control de tráfico, como se observó en una ocasión.

Otro factor que puede justificar ese valor de productividad es la construcción de la galería número 3, la cual inicia en la elevación 1175,00 m.s.n.m. y las mediciones comenzaron a realizarse en la elevación 1175,30 m.s.n.m. La galería produce cambios en la logística constructiva, es una etapa que genera atrasos principalmente en este proceso y obliga a la presa a dividirse en dos; debido a que el espacio para la circulación de la maquinaria se ve reducido.

Otras causas que pueden mencionarse corresponden a la falta de agua en la planta de producción, que obligó a detener la colocación de RCC; además, en una ocasión tanto el "Chute" como la banda transportadora ROTEC se encontraban en mantenimiento por avería.

Es importante mencionar que en el "Chute" se presentaron problemas debido a que la consistencia de la mezcla de RCC era inadecuada para colocar el material por este medio.

Sin embargo, en la figura 163 se observa que la productividad tiende a crecer, este comportamiento coincide con el concepto de curva de aprendizaje. Además, puede atribuirse a que en las mediciones realizadas la construcción de la galería finalizó y no se empleó el "Chute" para cargar con material las vagonetas.

Respecto de estos procesos de colocación de RCC en la figura 171 se refleja que los trabajos de REL poseen una mayor presencia en el tiempo de observación. Con las figuras 172 y 173 se puede explicar gráficamente la baja productividad obtenida, porque el porcentaje improductivo y los tiempos por espera de los

diferentes miembros de la cuadrilla de trabajo son mayores a los de los procesos anteriores.

En el proceso de inducción de juntas también se presentan problemas; esto porque con el "Work Sampling" se obtiene una productividad del 57,44% y con el "Five Minute Rating" un 55,72%. Además, en el gráfico de la figura 164 se observa una disminución de la productividad en el tiempo; los correspondientes a la figuras 175 y 176 muestran respectivamente, porcentajes improductivos y tiempos por espera que son considerables. Esta situación puede atribuirse a problemas por "coordinación de cuadrillas", pues mientras se ejecutaba este proceso también se realizaban otras actividades que impedían una ejecución continua del trabajo. Además, en las mediciones realizadas, se observó que el proceso fue detenido porque una vagoneta articulada tuvo que ser trasladada del sitio de colocado a otro lugar (debido a que se inició con el retiro de equipo al contarse con mayor cantidad del requerido) y porque un compactador tuvo un problema mecánico. Estos hechos obstruían el espacio necesario para ejecutar el trabajo.

En la figura 174 se puede apreciar que la actividad de colocación del material de la junta fue la que tuvo mayor participación en el proceso de inducción de junta con un 45 %; además, que el segundo lugar (23 %) lo ocupó la espera de los trabajadores al no contar con espacio para desarrollar las labores.

Los procesos de encofrado y desencofrado de paramentos presentaron en ambas técnicas una productividad mayor al 74%. Durante las observaciones hechas no se notaron situaciones relevantes que influyeran en la productividad; cabe agregar que ésta aumentó en el tiempo tal como lo muestran las figuras 165 y 166. En las figuras 177 a 181 se presentan los resúmenes de los resultados obtenidos con las tres técnicas para estos procesos.

Como aspectos positivos del proyecto, se pueden mencionar: se cuenta con un sistema de radio que facilita la comunicación y el pedido de materiales entre los distintos frentes de trabajo; existen diversas cuadrillas para los procesos, ello permite contrarrestar los efectos del cansancio y agotamiento producto de los trabajos realizados en condiciones extremas de clima; en puntos de reunión como en el comedor, se tienen pizarras informativas, que actualizan a los trabajadores con respecto del avance de la obra.

# Conclusiones

- La medición de rendimientos y de la productividad resulta importante para el control de una obra, pues permite ejecutar de forma oportuna acciones correctivas para la optimización de los procesos y de los recursos utilizados en éstos.
- La información mostrada en los formularios analizados no le permite al personal que tiene desconocimiento de la logística constructiva, establecer valoraciones de los datos procesados que contribuyan con el control y mejoramiento de los procesos.
- Los formularios analizados, a pesar de ofrecer gran cantidad de información valiosa para el control de las obras, dificultan el análisis oportuno que permita la introducción de cambios, de forma paralela a la ejecución de los procesos y operaciones, para el mejoramiento de éstos.
- Aun cuando el análisis de los formularios se dificulta por su extensión, los resultados producto del procesamiento, servirán de apoyo en el planeamiento de futuros proyectos que realice el Instituto Costarricense de Electricidad.
- A pesar del valor que representa la información que se recopila en los formularios, la empresa no ejerce un control estricto sobre la capacitación de las personas que capturan y procesan estos datos.
- La información recopilada por los inspectores de campo debe permitir justificar la disminución en los rendimientos de las actividades de presa.
- Dentro del proyecto no se formuló como objetivo específico el análisis de rendimientos; sin embargo, este trabajo era requerido por la Oficina de Planeamiento y Control. Debido a este hecho el trabajo de campo se orientó a la medición de la productividad.
- Al analizar la información brindada por el formulario F-08 y por los Reportes de RCC diarios, se observó una diferencia considerable con respecto de la cantidad de concreto colocado.
- Durante la ejecución de este trabajo, se logró realizar algunas mediciones de producción, que si bien no pudieron compararse numéricamente; sí se coincidió en la tendencia de los datos de algunos procesos. Ello demuestra que la técnica del muestreo del trabajo, es viable para el análisis y control de las obras.
- El muestreo del trabajo constituye una herramienta que podría agilizar el análisis y la toma de decisiones, para el mejoramiento de los procesos y operaciones de obra gris de la presa.
- La mejor opción para colocar el concreto es utilizar la banda transportadora ROTEC, pues se evitan las complicaciones por distancia de acarreo y congestión vehicular, presentados al emplear el “Chute” para este proceso.
- La construcción de la tercera galería de la presa modifica la logística constructiva, este cambio genera retrasos en la obra y disminución en el rendimiento de los procesos.
- La mayoría de procesos sujetos a medición superó el rango promedio de porcentaje de productividad, que se obtiene para las obras de construcción; al alcanzar porcentajes mayores al 70%.
- Al medir la productividad en el campo los principales problemas observados

corresponden a viajes excesivos, inadecuada coordinación entre cuadrillas, así como esperas y detenciones. Éstos fueron detectados en los procesos de limpieza profunda con lavado de alta presión e inducción de juntas.

- En la colocación de RCC, los principales factores de baja productividad se deben a averías en la banda transportadora y a problemas en la planta de producción de concreto.
- En general puede establecerse que la falta de agua y un inadecuado control de la organización del sitio de trabajo, constituyen los principales factores que afectan la productividad de los procesos.
- El concepto de curva de aprendizaje se pudo comprobar, debido a que la mayoría de procesos analizados mostraron un crecimiento de la productividad en el tiempo.
- Se rescata el interés de la empresa por mantener informados a sus trabajadores respecto del avance de la obra, así como del bienestar físicos de los mismos.

# Recomendaciones

- Para establecer un mayor control de los procesos y operaciones estudiados, se sugiere que las personas encargadas de procesar la información consignada realicen visitas continuas al campo. Esto facilitaría la comprensión de los datos y permitiría a los trabajadores aportar ideas para mejorar la ejecución, a partir de las interpretaciones realizadas.
- Se debe procurar que en los formularios, F-01 y F-08 para el caso en análisis, contengan anotaciones que justifiquen el atraso o la detención completa de los procesos, por citar un ejemplo. Lo anterior podría hacerse depurando el contenido correspondiente a tiempos improductivos; con dicho trabajo, se facilita el análisis y el control de la obra.
- Para evitar las diferencias en la información que manejan los diferentes departamentos del proyecto, se deben unificar criterios con el fin de que no se maneje información diferente que dificulte el control de los procesos.
- Al contratar a los inspectores de campo se les debe dar una capacitación previa sobre el proceso constructivo utilizado en el proyecto; esto les facilitará el trabajo de captura de información, al contar con un mayor conocimiento de los procesos que están observando.
- Para el caso de la limpieza profunda debe procurarse evitar la falta de agua para recargar el equipo utilizado. Esto puede hacerse redefiniendo las instalaciones de agua para evitar el desplazamiento de la mano de obra o contar con reservas de agua en lugares cercanos. Lo anterior contribuye a disminuir los atrasos en el proceso producto de la espera por este recurso.
- En la colocación de RCC debe realizarse un mantenimiento continuo y preventivo para evitar daños en la banda transportadora. En el caso de que deba utilizarse la otra opción de colocación, debe establecerse un mayor control del tráfico que agilice el acarreo del material; además, debe controlarse que la consistencia del concreto sea la adecuada para ser introducido en el “Chute”. Con el fin de evitar daños en éste que impidan por completo la colocación.
- Sobre este mismo proceso, debe ejercerse un mayor monitoreo del agua requerida para la producción de concreto, pues la falta de este insumo genera importantes retrasos.
- Para solventar el problema de coordinación entre cuadrillas, podría establecerse una jerarquía de ejecución de acuerdo con la importancia y con el tiempo que consumen; además, definir el momento adecuado para iniciar los procesos. De esta manera se evitaría un traslape de operaciones que complican la ejecución.
- Resulta importante que en el lugar de colocación se cuente únicamente con la cantidad de maquinaria y equipo necesaria, esto reduce el espacio de trabajo y genera problemas que afectan la productividad de los procesos.
- La empresa puede optar por el uso de otros métodos para el control de la producción en la obra, por ejemplo: el muestreo del trabajo para facilitar la toma de decisiones y la aplicación de las tres técnicas de medición de productividad empleadas en esta práctica profesional (“Work Sampling”, “Five Minute Rating” y “Crew Balance”), para evaluar la efectividad de la mano de obra.

# Apéndice

## Apéndice A

**Hojas de alcance de las técnicas  
de medición de productividad**

# Referencias

- Almeida, M. et al..2001. *Método para medir los costos de las pérdidas en la industria de la construcción*. **REVISTA INGENIERÍA DE CONSTRUCCIÓN DE LA UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CHILE**. 10(2): 2-8 p.
- Bonilla, J. 2009. *Mapa de Ubicación del Proyecto*. OFICINA DE INGENIERÍA. **UEN PROYECTOS Y SERVICIOS ASOCIADOS, PROYECTO HIDROELÉCTRICO PIRRÍS**.
- Calvo, L. et al.. 2010. *RCC Transportado por la Banda Rotec Y Desgloce De Horas*. OFICINA DE PLANEAMIENTO Y CONTROL.**UEN PROYECTOS Y SERVICIOS ASOCIADOS, PROYECTO HIDROELÉCTRICO PIRRÍS**.
- Calvo, L. et al.. 2010. *Reportes RCC Marzo 2010*. OFICINA DE PLANEAMIENTO Y CONTROL.**UEN PROYECTOS Y SERVICIOS ASOCIADOS, PROYECTO HIDROELÉCTRICO PIRRÍS**.
- Centro de Apoyo de Proyectos, (CAP). 2008. *Listado de Tiempos Improductivos*. **INSTITUTO COSTARRICENSE DE ELECTRICIDAD**.
- Chaves, M. 2010. *Control Mezcladores Planta Betonmac*. PLANTA PRODUCCIÓN DE CONCRETO RCC. **UEN PROYECTOS Y SERVICIOS ASOCIADOS, PROYECTO HIDROELÉCTRICO PIRRÍS**.
- Fakhouri, A; Kuprenas, J. 2001. *A Crew Balance Case Study–Improving Construction Productivity*. **CONSTRUCTION MANAGEMENT ASSOCIATION OF AMERICA**. Extraído el 05 de abril del 2010 desde: [http://www.cmaanet.org/files/crew\\_balance\\_study.pdf](http://www.cmaanet.org/files/crew_balance_study.pdf)
- Fuster, S. 2004. **ELABORACIÓN DE UNA GUÍA PRÁCTICA PARA EL USO CONJUNTO DE ANÁLISIS Y SIMULACIÓN DE OPERACIONES DE CONSTRUCCIÓN**. Extraído el 12 de agosto del 2008 desde: [ttp://www.ing.puc.cl/esp/paginas/alumpregrado/procedimientos/examen/memoria/ingenieria\\_Gestion\\_Construccion\\_Sebastian\\_Fuster\\_Aracena.pdf](http://www.ing.puc.cl/esp/paginas/alumpregrado/procedimientos/examen/memoria/ingenieria_Gestion_Construccion_Sebastian_Fuster_Aracena.pdf)
- Gamboa, A. 2009. *Procedimiento de Inicio de RCC*. OFICINA TÉCNICA-SITIO PRESA. **UEN PROYECTOS Y SERVICIOS ASOCIADOS, PROYECTO HIDROELÉCTRICO PIRRÍS**.
- Herrera, M. 2009. *Volúmenes de RCC cada 30 cm*. OFICINA DE PLANEAMIENTO Y CONTROL.**UEN PROYECTOS Y SERVICIOS ASOCIADOS, PROYECTO HIDROELÉCTRICO PIRRÍS**.
- Hizen, J. 2009. *Work Measurment*. **UNIVERSITY OF FLORIDA**. Extraído el 05 de abril del 2010 desde: <http://web.dcp.ufl.edu/hinze/Work%20Measurment.htm>
- Instituto Costarricense de Electricidad, (ICE). 2005. **ESPECIFICACIONES PARA CONSTRUCCIÓN DE OBRAS DE SITIO DE PRESA DEL PROYECTO HIDROELÉCTRICO PIRRÍS, LICITACIÓN PÚBLICA N° 7225-E**
- Leandro, A. 2009.*Notas del curso Diseño de Procesos Constructivos, impartido el I Semestre del 2009*.Escuela de Ingeniería en Construcción. **INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA**.

Londoño, C. 1991. *Presas de Concreto Compactado con Rodillo*. **INSTITUTO COLOMBIANO DE PRODUCTORES DE CEMENTO**. Extraído el 28 de enero del 2010 desde: <http://www.ficem.org/site/media/PRESAS%20DE%20CONCRETO%20COMPACTADO%20CON%20RODILLO.pdf>

Machado, P. 2010. *Lluvia mensual Proyecto Hidroeléctrico Pirrís*. OFICINA TÉCNICA SITIO DE PRESA. **UEN PROYECTOS Y SERVICIOS ASOCIADOS, PROYECTO HIDROELÉCTRICO PIRRÍS**.

Martínez, L. et al.. 1990. *Recomendaciones para aumentar la productividad en la construcción*. **REVISTA INGENIERÍA DE CONSTRUCCIÓN DE LA UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CHILE**. 8(1): 1-12 p.

Oficina de Ingeniería. 2010. *Base Colocado, 289 Capas con Rendimientos*. **UEN PROYECTOS Y SERVICIOS ASOCIADOS, PROYECTO HIDROELÉCTRICO PIRRÍS**.

Organización Internacional del Trabajo. 1996. **INTRODUCCIÓN AL ESTUDIO DEL TRABAJO**. 4<sup>ta</sup> ed. Ginebra: Organización Internacional del Trabajo. 4:12-p.

Rodríguez, W. 1999. **TÉCNICAS MODERNAS EN EL PLANEAMIENTO, PROGRAMACIÓN Y CONTROL DE OBRAS**. Lima: Independiente. 119:169 p.

Salas, L. 2006. *Material Teórico De Apoyo Para El Curso De Probabilidad Y Estadística*. Escuela de Ingeniería en Producción Industrial. **INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA**.

Schwartzkopf, W. 2004. **CALCULATION LOST LABOR PRODUCTIVITY IN CONSTRUCTION CLAIMS**. 2<sup>nd</sup> ed. California: Aspen Publishers.8:9 p.

Sistema Informático para la Administración de Rendimientos de Producción.2010. *Formulario Concreto Convencional-F 01-Cap-Pyc-05*. **UEN PROYECTOS Y**

## **SERVICIOS ASOCIADOS, PROYECTO HIDROELÉCTRICO PIRRÍS.**

Sistema Informático para la Administración de Rendimientos de Producción.2010. *Formulario Concreto Compactado Con Rodillo RCC-F 08-Cap-Pyc-05*. **UEN PROYECTOS Y SERVICIOS ASOCIADOS, PROYECTO HIDROELÉCTRICO PIRRÍS**.

Uribe, L. 2005. *Características del diseño y construcción de la Presa Ralco en Chile*. **INGENDENSA**. Extraído el 08 de abril del 2010 desde: <http://www.ingendesa.cl/images/publicaciones/CaracteristicasPresRalco.pdf>

El proyecto mostrado corresponde a una propuesta de mejoramiento en las operaciones y procesos, relacionados con la obra gris, de la presa del Proyecto Hidroeléctrico Pirrís. Basada en el análisis de rendimientos y la medición de productividad, mediante la aplicación de las técnicas Work Sampling, Five Minute Rating y Crew Balance.