



UNIVERSIDAD DE CHILE

FACULTAD DE CIENCIAS FISICAS Y MATEMATICAS

DEPARTAMENTO DE INGENIERIA CIVIL

EVALUACIÓN DEL IMPACTO DE MEDIDAS DE EFICIENCIA ENERGÉTICA EN
EDIFICACIÓN DESDE LA PERSPECTIVA DE LA PRODUCTIVIDAD.

MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL

PATRICIO ALEJANDRO VARGAS PULGAR

PROFESOR GUÍA:

WILLIAM WRAGG LARCO

MIEMBROS DE LA COMISIÓN:

JORGE PULGAR ALLENDES

PAULA ARANEDA GUERRA

SANTIAGO DE CHILE

2017

**RESUMEN DE LA MEMORIA PARA
OPTAR AL TÍTULO DE:** Ingeniero Civil.
POR: Patricio Alejandro Vargas Pulgar.
FECHA: 07/12/2017
PROFESOR GUÍA: William Wragg Larco.

EVALUACIÓN DEL IMPACTO DE MEDIDAS DE EFICIENCIA ENERGÉTICA EN EDIFICACIÓN DESDE LA PERSPECTIVA DE LA PRODUCTIVIDAD.

En el ámbito de la construcción, las medidas de eficiencia energética se orientan principalmente a la etapa de operación de los proyectos, dejando de lado las etapas de diseño y construcción. Considerando además que este sector económico en Chile es uno de los con más bajo crecimiento de la productividad, resulta interesante evaluar estos dos ámbitos, y cómo impacta el uso de medidas de eficiencia energética en la construcción desde la perspectiva de la productividad.

El presente trabajo tiene por finalidad la evaluación de la productividad en una obra de construcción al implementar medidas de eficiencia energética, desde el punto de vista de ahorro de energía, en dos actividades particulares.

Para alcanzar este objetivo, se realiza en una primera instancia una revisión bibliográfica para entender el concepto de productividad y eficiencia energética en la construcción. Luego de esta revisión se escogieron dos actividades de una obra de edificación en altura, denominada edificio EL LLANO, en donde se implementan medidas de eficiencia energética para luego evaluar cómo afecta la productividad en ellas. Se escoge la actividad de descarachado de muros, perteneciente a la etapa de terminación gruesa, y la tarea de vaciado de hormigón, perteneciente a la etapa de obra gruesa de la obra. Estas actividades se escogieron utilizando como criterio los recursos entregados por la empresa constructora.

Para la tarea de descarachado de muros se utiliza como medida de eficiencia energética bajar el número de herramientas eléctricas que se utilizan, pasando de dos martillos demoledores a tan sólo uno y subcontratando la mano de obra. Para el caso del vaciado de hormigón se pasa de hormigonar con capacho y grúa torre a hormigonar utilizando una bomba estacionaria y una torre de distribución de hormigón TDH.

Si bien la evaluación de la productividad se realizó acotando el estudio en dos actividades en particular de la construcción, se obtuvieron indicadores en donde mostraban que implementar medidas de eficiencia energética producen una mejora en la productividad, por lo que ampliar este estudio e implementar medidas de eficiencia energética más sofisticadas podría traer aún mejores resultados.

DEDICATORIA

A mis padres
Benito Vargas y Patricia Pulgar.

AGRADECIMIENTOS.

Cómo dice el dicho más vale tarde que nunca, luego de casi 4 años de estar egresado por fin conseguí terminar este trabajo de título y cerrar el ciclo, no fue fácil tener que asistir a clases, trabajar y hacer este trabajo, pero finalmente lo conseguí.

Agradezco por sobre todas las cosas a mis padres, por su apoyo incondicional. También agradezco a Sebastián Muñoz por apoyarme, y estar siempre cuando te necesite. Agradezco a mis amigos por hacer un poco más ameno este camino tan difícil y a mis compañeros que si bien ya han pasado varios años desde que egresamos, fueron de gran apoyo en los trabajos y noches de estudio.

Finalmente agradezco al profesor William Wragg por confiar en este trabajo y ayudarme a terminar este proceso, y al profesor Jorge Pulgar por sus buenos consejos y por siempre responder y comprender todos los problemas que surgieron en el camino.

TABLA DE CONTENIDO

DEDICATORIA.....	ii
AGRADECIMIENTOS.....	iii
ÍNDICE DE TABLAS.....	vi
ÍNDICE DE FIGURAS.....	vii
1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. Metodología.....	2
1.2. Objetivos.....	3
1.2.1. Objetivo General.....	3
1.2.2. Objetivos específicos.....	3
1.3. Alcances.....	3
1.4. Antecedentes generales del proyecto.....	4
2. MARCO TEÓRICO.....	5
2.1. Lean Construction.....	5
2.2. Productividad.....	7
2.2.1. Captura de datos sobre productividad en la construcción.....	7
2.2.2. Prueba de los cinco minutos para el análisis de pérdidas.....	8
2.2.3. Muestreo del trabajo.....	8
2.3. Indicadores de productividad.....	9
2.4. Eficiencia Energética.....	10
2.4.1. Medidas de eficiencia energética.....	11
3. PLANEAMIENTO DEL TRABAJO.....	11
3.1. Medidas de eficiencia energética.....	11
3.1.1. Descarachado de muros de hormigón.....	12
3.1.1.1. Descripción de la tarea de descarachado.....	12
3.1.1.2. Medida de eficiencia energética implementada en la tarea de descarachado de muros de hormigón.....	12
3.1.2. Hormigonado de muros y losas.....	12
3.1.2.1. Descripción de la tarea de hormigonado de muros y losas.....	12
3.1.2.2. Medida de eficiencia energética implementada en la tarea de hormigonado de muros y losas.....	15

3.2.	Definición de Indicadores y datos necesarios.	16
3.3.	Obtención de datos en terreno.	18
3.3.1.	Obtención de datos para la tarea de descarachado de muros	18
3.3.2.	Obtención de datos para la tarea de vaciado de hormigón.	19
4.	CÁLCULO DE INDICADORES DE PRODUCTIVIDAD Y CONSUMO ENERGETICO.....	21
4.1.	Descarachado de muros.	21
4.1.1.	Indicadores de productividad caso 1A.	21
4.1.2.	Indicadores de productividad caso 1B.	23
4.1.3.	Medición de consumo energético caso 1A.	25
4.1.4.	Medición de consumo energético caso 1B.	26
4.2.	Hormigonado de muros y losas.....	27
4.2.1.	Indicadores de productividad caso 2A.	27
4.2.2.	Indicadores de productividad caso 2B.	29
4.2.3.	Medición de consumo energético caso 2A.	30
4.2.4.	Medición de consumo energético caso 2B.	32
5.	ANÁLISIS.....	35
5.1.	Descarachado de muros.	36
5.1.1.	Análisis de productividad.	36
5.1.2.	Análisis de consumo energético.	37
5.2.	Hormigonado de Muros y Losas.	38
5.2.1.	Análisis de productividad.	38
5.2.2.	Análisis de consumo energético.	40
6.	CONCLUSIONES Y RESULTADOS.	41
7.	BIBLIOGRAFÍA.....	43
8.	ANEXOS.....	44
8.1.	Anexo A: Datos recopilados en Terreno.....	44

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Antecedentes del proyecto en estudio.....	5
Tabla 2: Dosificación de mortero de lubricación para utilización de bomba estacionaria.	13
Tabla 3: Indicadores de productividad.....	17
Tabla 4: Datos Necesarios que se deben medir en terreno.	17
Tabla 5: formato registro de actividades.	19
Tabla 6: Muestras mínimas necesarias para muestreo del trabajo.	19
Tabla 7: Formato de registro de tiempos ciclos de capachado.	20
Tabla 8: Formato alternativo para registro de tiempos de ciclos de capachado.....	20
Tabla 9: Formato de registro tiempo vaciado de hormigón con bomba.....	20
Tabla 10: Valores descarachado muros empresa constructora.	23
Tabla 11: Valores por metro cuadrado de descarachado de muros.....	25
Tabla 12: Equipos utilizados para tarea de descarachado de muros.	25
Tabla 13: Rendimiento promedio vaciado de hormigón con capacho y grúa torre para hormigonado de muros.	27
Tabla 14: Rendimiento promedio de vaciado de hormigón con bomba para hormigonado de losas.....	28
Tabla 15: Valores de arriendo mensual de bomba estacionaria de hormigón y grúa torre	28
Tabla 16: Rendimiento promedio de vaciado de hormigón con bomba y TDH para hormigonado de losas.	29
Tabla 17: rendimiento promedio de vaciado de hormigón con bomba y TDH para hormigonado de muros.	29
Tabla 18: Consumo de diésel de bomba estacionaria PUTZMEISTER BSA -1400D.....	32
Tabla 19: Consumo de diésel de bomba estacionaria en litros por minuto.	32
Tabla 20: Registro de datos de tiempos de hormigonado y consumo de litros por metros cúbicos de la bomba.	33
Tabla 21: datos para obtener tiempo de encendido de torre de distribución por unidad de metro cúbico de hormigón	34
Tabla 22: Resumen indicadores obtenidos para tarea de descarachado.....	35
Tabla 23: Resumen indicadores obtenidos para tarea de hormigonado	36
Tabla 23: Hormigonado de muros con capacho.....	44
Tabla 24: Hormigonado de losa con bomba y tuberías.	45
Tabla 25: hormigonado de muros con TDH.....	46
Tabla 26: Hormigonado de losas con TDH.	47
Tabla 27: Datos obtenidos para descarachado de muros con personal contratado por la constructora.....	48
Tabla 28: Datos obtenidos para descarachado de muros con personal subcontratado.	48

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Curvas PIB versus crecimiento de energía	1
Figura 2: Edificio Obra El llano.....	4
Figura 3: Ubicación de la obra.....	5
Figura 4: Bomba de hormigón utilizada en la Obra.	13
Figura 5: Hormigonado con Capacho.....	14
Figura 6: Movimientos de una grúa torre.....	15
Figura 7: Torre de distribución de Hormigón utilizada en la obra.	16
Figura 8: Distribución de los niveles de actividad tarea descarachado de muros caso 1A	22
Figura 9: Distribución de actividades para descarachado de muros caso 1A	22
Figura 10: Distribución de los niveles de actividad tarea descarachado de muros caso 1B.....	24
Figura 11: Distribución de actividades para descarachado de muros caso 1B	24
Figura 12: Altura de grúa.....	31
Figura 13: Comparación de vaciado de hormigón de losas.	38
Figura 14: Comparación de vaciado de hormigón de muros.....	39

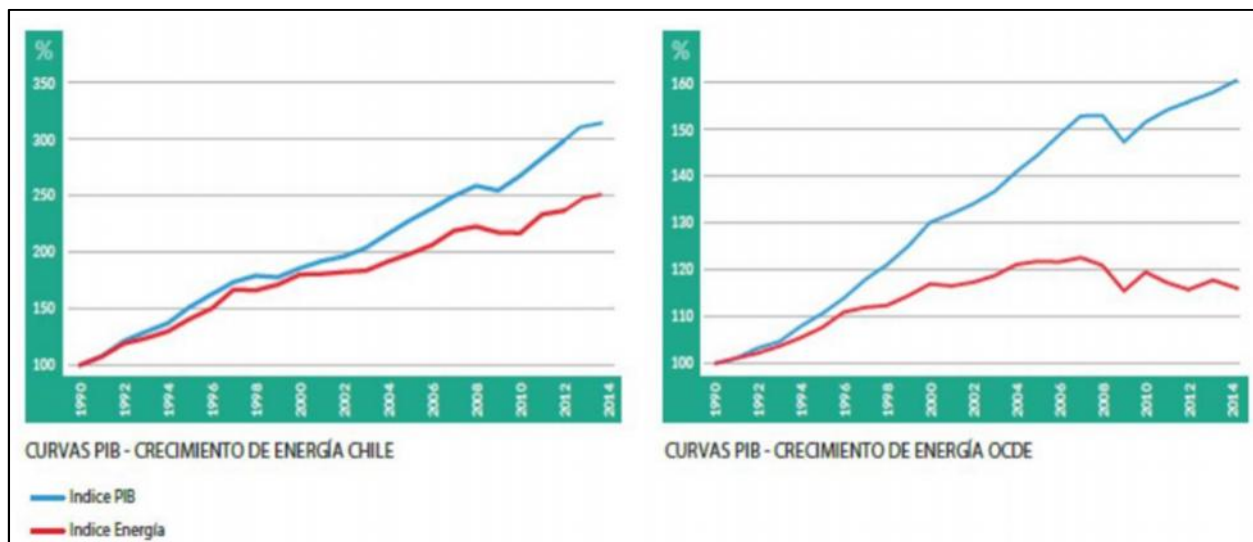
1. INTRODUCCIÓN

La construcción es una actividad económica que progresivamente va exigiendo mejores soluciones de diseño, eficiencia y calidad de las edificaciones. Asimismo, esta área presenta una alta demanda de energía, materiales, mano de obra y tecnologías.

Por otro lado en Chile, la producción total de la industria de la construcción se estima que aporta un promedio del 7,8% del PIB nacional¹, representa un 8,46% de los empleos² y un 34% de la generación de residuos sólidos³. Con estas cifras se puede decir que el rubro de la construcción tiene una gran relevancia para el crecimiento del país.

Con el crecimiento del país, el consumo eléctrico también va creciendo, lo que incide en la necesidad de buscar estrategias para el uso eficiente de la energía. Como la construcción es un rubro de alta importancia para el crecimiento del país, resulta interesante estudiar la implementación de medidas de eficiencia energética en este rubro. Esto, según estudios realizados por la OCDE, no es lo que ocurre con el promedio de los países pertenecientes a este grupo, ya que el crecimiento del PIB no es directamente proporcional con el aumento de consumo de energía, como ocurre en Chile.

Figura 1: Curvas PIB versus crecimiento de energía⁴



La mayor parte de medidas de eficiencia energética en construcción se enfocan en las etapas de diseño y operación de un edificio, no así en la etapa de construcción propiamente tal, esto debido a que el gran porcentaje del consumo total de energía,

¹ Banco Central (2012). Aporte promedio 2008-2011 del sector de la construcción al PIB.

² INE (2012). Ocupación por rama de actividad económica nacional.

³ CONAMA (2010). Primer reporte del manejo de residuos sólidos en Chile.

⁴ Balance de Energía y EIA (2014).

considerando el ciclo de vida completo de un edificio, se concentra en la etapa de operación. Debido a esto se implementarán medidas de eficiencia energética en la etapa de construcción de un edificio habitacional, evaluando el impacto desde la perspectiva de la productividad.

Para ello se escogerán varias actividades que estén relacionados con el consumo energético en la obra, principalmente el uso de herramientas, y se implementarán medidas que produzcan la reducción en el consumo de electricidad. Al realizar esto se evaluará como afecta dicha estrategia de ahorro de energía en la productividad de la actividad específica.

1.1. Metodología.

Para lograr el objetivo planteado se realizarán las siguientes etapas:

- Revisión de antecedentes:

Este es el primer paso del trabajo. Se realiza una revisión bibliográfica sobre productividad en la construcción y eficiencia energética. Con esto se conocen distintos métodos para medir productividad en la obra e ideas de medidas de eficiencia energética que se pueden utilizar.

- Elección de medidas de eficiencia energética:

Se definen que actividades y/o tareas de la construcción se estudiarán, y que medidas de eficiencia energética se aplicará en la obra.

- Elección de indicadores de productividad:

Se definen los indicadores de productividad que se van a medir.

- Recopilación de datos:

Se realiza recopilación de datos a través de observación en terreno.

- Procesamiento de datos:

Cálculo de indicadores usando los datos recogidos en terreno.

- Análisis de datos.

Evaluación del impacto de la implementación de las medidas de eficiencia energética aplicadas desde el punto de vista de la productividad.

- Conclusión y discusión de resultados.

1.2. Objetivos.

1.2.1. Objetivo General.

Evaluar el impacto que tiene en la productividad la utilización de medidas de eficiencia energética en la etapa de construcción de un edificio habitacional.

1.2.2. Objetivos específicos.

- Estudiar el concepto de productividad en construcción, obteniendo indicadores que puedan ser cuantificables.
- Estudiar el concepto de eficiencia energética, e idear medidas que puedan ser aplicables en la etapa de construcción de un edificio habitacional.
- Realizar mediciones de productividad en diferentes tareas y/o partidas en una obra de construcción, mediante la obtención de datos en terreno que sirven para el cálculo de indicadores de productividad.
- Implementar medidas de eficiencia energética en diferentes tareas y/o partidas en una obra de construcción de un edificio habitacional.
- Realizar mediciones de productividad en diferentes tareas y/o partidas en las cuales fue aplicada una medida de eficiencia energética.
- Calcular consumo de energía, mediante la información entregada por los fabricantes de equipos y herramientas.
- Comparar resultados de medición de productividad en tareas y/o partidas con y sin la utilización de medidas de eficiencia energética.

1.3. Alcances.

El estudio se basará principalmente en una obra de construcción de un edificio habitacional. El período de observación en terreno se extiende desde el martes 04 de abril de 2017 al día jueves 17 de Agosto de 2017, por tanto el diagnóstico realizado refleja la realidad de dicho período y no necesariamente del período de producción completo. Además se realizarán mediciones en dos actividades en particular de una obra de construcción por lo que los resultados obtenidos sólo se acotarán a las actividades evaluadas.

Para el estudio de consumo energético, éste se basará en análisis teóricos de consumos y no se podrá medir el real impacto en el consumo de energía eléctrica, sólo se basará en la información entregada por los fabricantes de maquinarias y equipos para el análisis de ahorro de energía. Se debe mencionar que este cálculo indirecto no invalida las conclusiones obtenidas.

1.4. Antecedentes generales del proyecto.

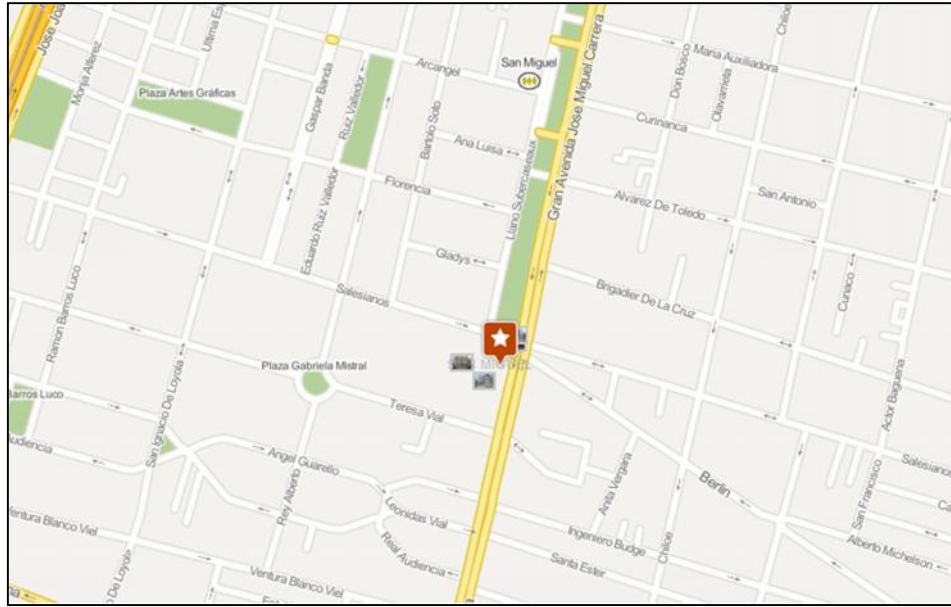
El estudio en cuestión para la realización del presente trabajo de título, se basará en la evaluación de productividad en una obra en particular. El edificio EL LLANO pertenece a la constructora e inmobiliaria Esperanza S.A y contempla la construcción de 298 departamentos y 6 locales comerciales. Éstos estarán distribuidos en dos edificios, uno de 24 pisos y otro de 7 pisos que se encuentran emplazados en el mismo terreno, además de 2 subterráneos compartidos. Todo el conjunto antes mencionado suma una superficie de 28.000 m² construidos aproximadamente.

Figura 2: Edificio Obra El llano.



El proyecto se encuentra emplazado en avenida Salesianos 1128, comuna de San Miguel. En la siguiente figura 2 se muestra el lugar exacto de donde se encuentra situada la obra en construcción.

Figura 3: Ubicación de la obra.



Los antecedentes generales del proyecto se muestran en la tabla 1

Tabla 1: Antecedentes del proyecto en estudio.

Nombre el proyecto	Edificio El Llano
Constructora	Constructora e Inmobiliaria Esperanza S.A.
Ubicación	Comuna de San Miguel.
Tipo de edificación	Habitacional y Comercial
N° Pisos Torre 1	7 pisos
N° Pisos Torre 2	24 pisos
Subterráneos	2
Plazos Edificio 1	15 meses
Plazos Edificio 2	24 meses

Cabe mencionar que si bien el proyecto contempla la construcción de 2 edificios, estos serán construidos simultáneamente. Como nomenclatura se utilizará que el edificio 1 es aquel que tiene 7 pisos, y el edificio 2 es el que tiene 24 pisos.

2. MARCO TEÓRICO.

2.1. Lean Construction.

Lean Construction es un enfoque dirigido a la gestión de proyectos de construcción. Está basada originalmente en el sistema de fabricación de Toyota, diseñado para

minimizar el despilfarro y agregar valor sistemáticamente en el proceso de manufactura. A fines de los 80, un estudio de la industria automovilística mundial realizado por el Massachusetts institute of Technoogy, demostró que la productividad de ciertas fábricas japonesas era un 50% superior al de las fábricas norteamericanas; además, la cantidad de defectos por unidad en estas plantas era significativamente menor que en las norteamericanas. Se observó que las fábricas japonesas presentaban una tendencia a favorecer una mayor multifuncionalidad y polivalencia, dividiendo el trabajo de ensamblaje de automóviles en menos partes que en las norteamericanas, lo que producía una menor especialización del trabajo. Al mismo tiempo, la rotación era sustancialmente mayor en las plantas japonesas y gran parte de las tareas se realizaban en equipos de trabajo, a diferencia de las fábricas occidentales donde se beneficiaba el trabajo individual.

Los principios básicos y las herramientas utilizadas por el sistema de producción sin pérdidas han sido extensamente difundidos en la industria manufacturera. También se han adaptado progresivamente para acomodarse a los requerimientos de gestión en la industria de la construcción, lo que generalmente se denomina “lean construction”. Koskela (1992) puso las bases de la aplicación de la producción sin pérdidas a la construcción, analizando los sistemas productivos emergentes: enfoque “just in time”, ingeniería concurrente, gestión de la calidad total, reingeniería de procesos, así como ideas aplicadas en el sistema de fabricación de Toyota. Posteriormente, introdujo una visión integradora de la producción como flujo de información o de materiales, con tres objetivos fundamentales (koskela, 2000): reducción de costos, ahorro de tiempo e incremento de valor para el cliente. A continuación se detallan los doce principios básicos de la producción sin pérdidas que se establecen para el diseño, control y mejora de los flujos de producción:

1. Incrementar la eficiencia de las actividades que agregan valor.
2. Reducir la participación de actividades que no agregan valor (también denominadas pérdidas).
3. Incrementar el valor del producto a través de la consideración sistemática de los requerimientos del cliente.
4. Reducir la variabilidad.
5. Reducir el tiempo del ciclo.
6. Simplificar procesos.
7. Incrementar la flexibilidad de la producción.
8. Incrementar la transparencia de los procesos.
9. Enfocar el control al proceso completo.
10. Introducir la mejora continua de los procesos.
11. Mejorar continuamente el flujo.
12. Referenciar los procesos con los de las organizaciones líderes (“benchmarking”).

2.2. Productividad.

La productividad se puede definir como una relación entre lo producido y los recursos utilizados para ello. Se puede expresar como:

$$\text{productividad} = \frac{\text{cantidad mayor producida}}{\text{recursos empleados constantes}}$$

La productividad puede definirse en forma más explícita como una medición de la eficiencia con que los recursos son administrados para completar un producto específico, luego se habla de mayor productividad cuando se produce más con los mismos recursos.

La productividad está asociada a un proceso de transformación. A este proceso ingresan recursos necesarios para producir un material, un bien o dar un servicio, y posteriormente, a través del proceso, se obtiene un producto o un servicio cumplido. En la construcción, los principales recursos empleados en los proyectos son los siguientes:

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

Considerando los diferentes tipos de recursos, es posible hablar de las siguientes productividades:

- a) Productividad de los materiales: En construcción es importante una buena utilización de los materiales, evitando todo tipo de pérdidas.
- b) Productividad de la mano de obra: Es un factor crítico, ya que es el recurso que generalmente fija el ritmo de trabajo en la construcción y del cual depende, en gran medida, la productividad de los recursos.
- c) Productividad de la maquinaria: Este factor es importante por el alto costo de los equipos, por lo tanto, es muy relevante evitar las pérdidas en la utilización de este tipo de recurso.

2.2.1. Captura de datos sobre productividad en la construcción.

Las tres principales categorías utilizadas para las mediciones de productividad son:

- a) Trabajo Productivo (TP): se define como aquel trabajo que aporta en forma directa a la producción y por lo tanto es cuantificable. (Por ejemplo: pintando muros, hormigonando, colocando ladrillos, etc.).

- b) Trabajo Contributivo (TC): se define aquel trabajo que debe ser realizado para que ejecutarse el trabajo productivo en términos de apoyo a la producción (por ejemplo: recibiendo instrucciones, leyendo planos, armando andamios, etc.).
- c) Trabajo No Contributivo (TNC): ninguno de los anteriores, son tiempos ociosos y de esperas (Por ejemplo: caminando con las manos vacías, fumando, esperando, etc.).

2.2.2. Prueba de los cinco minutos para el análisis de pérdidas.

En el proceso de aplicación de Lean construction el primer paso es realizar un estudio cuantitativo del tiempo de permanencia en obra de los trabajadores, para estimar que tan productiva es la labor de todo el conjunto de cuadrillas en la obra, es decir analizar cómo están distribuyendo el tiempo que debe ser dedicado para trabajar en la obra y así tener un estimado del tiempo dedicado realmente a hacer labores para optimizarlo y tomar medidas de corrección en cuanto a el tiempo desperdiciado. Para ello se realiza un formato de prueba llamado “medición de pérdidas” o “prueba de los cinco minutos”.

El procedimiento consiste en hacer un muestreo aleatorio simple de la población de estudio (obreros de la construcción) y analizar a que se dedica en un tiempo de cinco minutos. En ese intervalo de tiempo estudiado un obrero puede usar el tiempo de tres formas: tiempo productivo (TP), tiempo contributivo (TC) y tiempo no contributivo (TNC).

La prueba debe realizarse de la siguiente forma:

- El objetivo de la prueba es tomar durante 5 minutos el tiempo dedicado por un trabajador a actividades productivas, contributivas o no contributivas (pérdidas).
- La persona que realiza la medición debe contar con un cronómetro y un formato para registrar la información.
- La toma de la medición debe realizarse de forma aleatoria.
- No es suficiente sólo un registro de 5 minutos para analizar y tomar decisiones de cómo reducir las pérdidas de una actividad de construcción. Se deben tomar varias mediciones para calcular los promedios y desviaciones estándar de los tiempos productivos, contributivos y no contributivos.

2.2.3. Muestreo del trabajo

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

Algunas características que definen particularmente a esta herramienta son:

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

El problema de esta medición es que con los resultados obtenidos, porcentaje de trabajo productivo, contributivo y no contributivo de la actividad, es difícil dar un diagnóstico. Esta herramienta es más adecuada para ver si existe un problema y si lo hay entonces realizar otra medición, para así tener una clara descripción de la actividad y ser capaz de dar un diagnóstico preciso para mejorar la productividad. Para efectos de este trabajo, cómo sólo se necesita realizar una medición de la productividad y no realizar una mejora en ella necesariamente, este método será de gran ayuda.

2.3. Indicadores de productividad.

Los indicadores consisten en expresiones cuantitativas que representan una información obtenida a partir de la medición y evaluación de una estructura de producción, de los procesos que la componen y/o de los productos resultantes. La medición y evaluación se refieren a la identificación de datos e informaciones y al establecimiento de criterios, especificaciones o valores de comparación entre los resultados obtenidos y estándares o metas definidas.

Un indicador de productividad mide el desempeño de los procesos a través de relaciones elaboradas a partir de los recursos utilizados y los respectivos resultados alcanzados.

Al definir un indicador este cuenta con algunos requisitos:

- Selectividad: al escoger los indicadores se debe tener consideración aspectos críticos para la capacitación o desempeño de una empresa. La idea no es escoger un gran número de indicadores, sino, sólo los claves, es decir, aquellos que proporcionen información valiosa acerca de lo que se desea evaluar.
- Simplicidad: los indicadores deben ser de fácil comprensión y aplicación.
- Accesibilidad: la obtención de datos debe ser lo más simple posible.
- Bajo costo: el costo, tanto para la obtención de datos, como para el procesamiento de los mismos, no debe ser superior a beneficio que se debe alcanzar.

- Trazabilidad: es importante que el proceso de elaboración de los indicadores esté adecuadamente detallado y documentado, de tal forma que se pueda acceder a la información de ser necesario.
- Experimentación: antes de su implantación, los indicadores definidos deben pasar por un período de prueba para verificar su eficacia en relación con los objetivos establecidos.

Los indicadores pueden tener diferentes unidades de medida según las variables que estén involucradas en su definición. Éstas pueden ser:

- Frecuencia: Número absoluto de ocurrencia verificadas en un período de tiempo o condiciones pre-establecidas.
- Porcentaje.
- Tiempo de espera para que suceda un evento o tiempo de ejecución de una etapa del proceso.
- Relación de cantidad con otra variable: número de defectos por mes, costo por m², volumen de concreto por área construida, etc.

2.4. Eficiencia Energética.

La eficiencia energética se puede entender de varias formas. Por un lado, como la reducción del uso de energía sin impactar en el nivel de producción ni en su calidad. Por otro lado, puede expresarse como hacer más con la misma cantidad de energía. Por lo tanto, la eficiencia energética es la optimización de la relación entre los productos o servicios finales obtenidos y la cantidad de energía utilizada en su producción.

Como consecuencia de la eficiencia energética se obtiene “energía evitada” que antes se utilizaba en algún proceso o actividad en particular, y hoy se encuentra disponible para otros usos. Por lo tanto, es la fuente de energía más limpia, segura y económica para una organización. Es por esto que la eficiencia energética puede convertirse en una importante alternativa para reducir costos.

Cualquier organización o empresa puede ser poco eficiente en el uso de la energía. Esta ineficiencia se podría deber a la utilización de maquinarias sin el mantenimiento apropiado, al funcionamiento innecesario de elementos que consumen energía o a la mala planificación de operaciones, entre otras causas.

Para abordar esta situación, se plantea la aplicación correcta de medidas de eficiencia energética (MEE), la cual requiere contar con una supervisión y evaluación estandarizada que asegure verificar el impacto real de las medidas implementadas.

2.4.1. Medidas de eficiencia energética.

Las medidas de eficiencia energética corresponden a acciones destinadas a optimizar el uso de los recursos energéticos utilizados en la organización. Aplicadas correctamente, permiten incrementar el rendimiento energético de los procesos, es decir, maximizar la relación entre los bienes o servicios producidos y la cantidad de energía utilizada para ello.

De manera general se pueden distinguir al menos tres tipos de MEE, de acuerdo a la naturaleza de las acciones que se toman para buscar obtener ahorros energéticos:

- **Mejoras Operacionales:** Por medio de la gestión de las actividades y la optimización de los recursos disponibles es posible mejorar la eficiencia energética de la organización consiguiendo los beneficios de estas mejores prácticas.
- **Recambios tecnológicos:** En la actualidad los proveedores de diversos equipos o sistemas consideran relevante la eficiencia energética, por esta razón es que equipos modernos utilizan de mejor manera los recursos energéticos. Modernizar un proceso productivo incorporando máquinas o equipos más eficientes puede reportar importantes ahorros en la operación.
- **Cambio cultural:** la educación en eficiencia energética es fundamental para que cualquier medida o programa obtenga resultados. La adopción de una cultura de utilizar los recursos que corresponden, en sí es una forma de hacer eficiencia energética.

3. PLANEAMIENTO DEL TRABAJO.

En el presente capítulo se mencionan las medidas de eficiencia energética que se implementarán en la obra, cuáles son las actividades que serán evaluadas, se definen los indicadores de productividad a calcular y los datos necesarios de recopilar en terreno para obtenerlos. Además se detalla el procedimiento para obtener y registrar estos datos y la metodología de cálculo establecida para cada indicador.

3.1. Medidas de eficiencia energética.

Para desarrollar este trabajo, se deben implementar medidas de eficiencia energética en la etapa de construcción de un edificio habitacional. Para ello se escogieron actividades que se desarrollan en el proceso constructivo de una obra de construcción, y a dichas tareas se le aplicará una medida de eficiencia energética. Cabe mencionar que las medidas energéticas y actividades a evaluar se escogieron adaptándose a las necesidades de la empresa constructora, a los recursos entregados al autor para la

realización del trabajo y a la etapa de construcción en la que se encontraba la obra. Éstas tareas y medidas de eficiencia energética, desde el punto de vista del ahorro de energía consumida, se explicarán y mencionarán a continuación.

3.1.1. Descarachado de muros de hormigón.

3.1.1.1. Descripción de la tarea de descarachado.

La tarea de descarachado de muros de hormigón es una etapa de terminación gruesa en la construcción de un edificio. Ésta tarea consiste en la utilización de una herramienta llamada martillo demoledor, con el cuál se quita el exceso de lechada de hormigón de los muros. El exceso de lechada de hormigón en los muros se produce por la falta de hermeticidad de los moldajes, y se producen principalmente en las uniones de éstos, en la base de los moldajes de muros, en la unión entre moldajes de muro, en la unión de moldaje de losa y muro.

3.1.1.2. Medida de eficiencia energética implementada en la tarea de descarachado de muros de hormigón.

Para esta tarea en una primera instancia se tenía a dos trabajadores contratados por la empresa constructora, llamados “kangueros”, encargados de las tareas de descarachado de muros y losas. Como medida de eficiencia energética a utilizar, se contrató la mano de obra de esta tarea, en dónde el contratista sólo utilizará a un trabajador para el descarachado de muros. Esta medida corresponde a una medida del tipo mejora operacional. Ésta medida al utilizar una menor cantidad de herramientas eléctricas, debiese existir un ahorro de energía. Además se evaluará la productividad de la mano de obra de descarachado.

3.1.2. Hormigonado de muros y losas.

3.1.2.1. Descripción de la tarea de hormigonado de muros y losas.

La tarea de hormigonado de muros y losas consiste en el vaciado de hormigón en los elementos estructurales de muros y losas, mediante la utilización de una bomba estacionaria de hormigón. Ésta maquinaria es una bomba remolcable a las que se les conecta tubería de acero de 125 mm de diámetro, armando en forma manual un trazado que permiten llegar al lugar donde se requiere colocar el hormigón. Son capaces de bombear a una distancia de 500 metros horizontales ó 200 metros verticales, dependiendo del tipo de hormigón.

La bomba se encontrará ubicada en el primer piso, en una ubicación donde los camiones de hormigón tengan un fácil acceso. La bomba instalada en la obra corresponde a una bomba estacionaria modelo PUTZMEISTER BSA – 1400D, la cual se muestra en la figura 4.

Figura 4: Bomba de hormigón utilizada en la Obra.



Para dar funcionamiento a la bomba de hormigón, el operador del equipo debe seguir la siguiente secuencia:

- Dar arranque al equipo.
- Preparar el mortero de lubricación en la cantidad que se muestra en la tabla 2.

Tabla 2: Dosificación de mortero de lubricación para utilización de bomba estacionaria.

Longitud de tubería (metros)	Mezcla (litros)	Cemento (Sacos)
50 o menos	200	4
51 – 100	300	7
101 – 150	400	10
151 – 200	500	12

- Una vez comenzado a bombear el mortero, se disminuirá el caudal del equipo a no más de 8 a 10 golpes por minuto, este se debe variar hasta llegar a un régimen de bombeo de hormigón.
- No se debe detener la marcha del bombeo cuanto esté pasando el mortero.
- Una vez que salga el mortero por el otro extremo de la tubería, la bomba ya está lista para comenzar con el vaciado de hormigón. Esta tarea completa tiene un tiempo de duración de entre 10 a 15 minutos y siempre se debe realizar antes de los trabajos de hormigonado.

Todo lo antes mencionado se utilizó para el hormigonado de losas mediante la utilización de tuberías. Para el caso del hormigonado de muros, en una primera instancia, el vaciado se realizó mediante la utilización de un capacho y la grúa torre. El capacho concretero corresponde a un accesorio diseñado para el traslado de hormigón en altura mediante la utilización de una grúa torre, mostrado en la figura 5. El más utilizado es el de descarga vertical tipo mamut que posee una manga flexible en su parte inferior que permite direccionar la descarga de hormigón, en la obra se utiliza un capacho con capacidad de 500 litros.

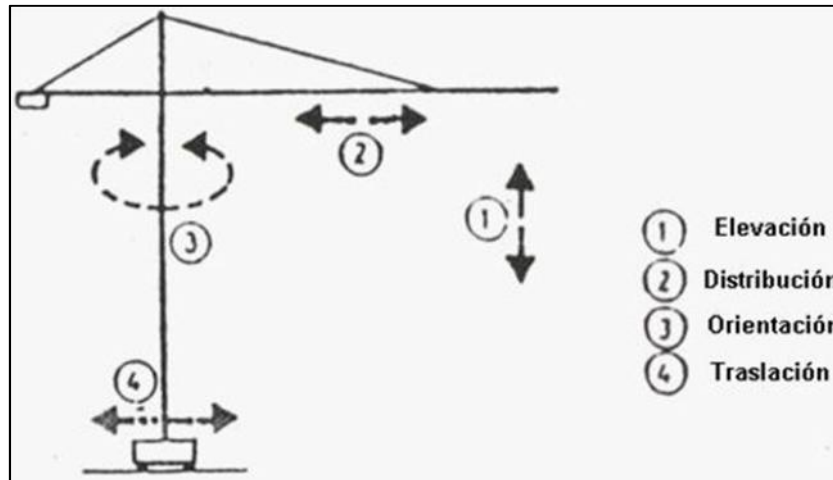
Figura 5: Hormigonado con Capacho.



La grúa torre es un mecanismo de elevación de cargas de funcionamiento discontinuo, que se emplea para elevar y distribuir las cargas situadas en la parte del gancho o elemento de sujeción, a distintas alturas y posiciones de manera tal que permite manipular elementos de construcción fácilmente y con poco esfuerzo. La grúa torre puede realizar en general 4 movimientos estos son los siguientes:

- 1) Movimiento de elevación.
- 2) Movimiento de distribución.
- 3) Movimiento de orientación o giro.
- 4) Movimiento de traslación.

Figura 6: Movimientos de una grúa torre.



Para el caso de la obra en estudio, el movimiento 4 está fijo, ya que la grúa se encuentra empotrada con un dado de fundación en su base. La grúa que se evaluará pertenece a la empresa HEAVY DUTY y corresponde a una grúa marca JASO modelo J42NS, que tiene como características generales un alcance de 40 metros de radio, una carga máxima de 5000 kilos y una carga máxima en punta de 1100 kilos.

3.1.2.2. Medida de eficiencia energética implementada en la tarea de hormigonado de muros y losas.

La medida de eficiencia energética que se implementará corresponde a un recambio tecnológico que consiste en el arriendo de una torre de distribución de hormigón, que corresponde a un brazo articulado totalmente hidráulico con un alcance de 32 metros que va en la losa del edificio y van auto-trepano a medida que el edificio crece en altura. Son alimentadas por la bomba estacionaria ubicada al pie del edificio. Este equipo evita el uso de capacho, por ende libera a la grúa torre del proceso de hormigonado de muros, por lo que reduce el uso de energía consumida de la grúa. Además para el proceso de hormigonado de losas, reduce el tiempo de cambio de tuberías de una losa a otra por lo que el proceso de hormigonado se realiza más rápido y por ende la bomba estacionaria debiese estar menos tiempo encendida, produciendo una reducción de consumo de combustible de la bomba.

Figura 7: Torre de distribución de Hormigón utilizada en la obra.



Como fue mencionado, este equipo va trepando a medida que la obra gruesa va avanzando. Este equipo fue ubicado en uno de los fosos destinado a los futuros ascensores del edificio y se instaló cuando la obra ya estaba llegando al segundo piso, esto debido a que para el funcionamiento del equipo, necesita de por lo menos tres pisos hacia abajo para poder anclarse.

3.2. Definición de Indicadores y datos necesarios.

Para seleccionar los indicadores, es importante tener claro el objetivo que se desea alcanzar. En el caso de este trabajo, el fin es tener un panorama del desempeño del sector de edificaciones en lo que se refiere a productividad, en particular para la obra edificio El Llano en dos actividades de construcción.

Luego en virtud de lo requerido para el análisis de productividad en las tareas escogidas y de los datos que se pudieron recolectar en terreno, se tienen los indicadores mostrados en la tabla 2.

Tabla 3: Indicadores de productividad.

Nombre	Abreviación	unidad	Significado
Porcentaje de trabajo productivo	%TP	%	Porcentaje del tiempo dedicado al trabajo que aporta en forma directa a la producción
Porcentaje de trabajo contributivo	%TC	%	Porcentaje del tiempo dedicado al trabajo de apoyo que debe ser realizado para ejecutarse el trabajo productivo.
Porcentaje de trabajo no contributivo	%TNC	%	Porcentaje del tiempo dedicado a las tareas que no generan avance.
Valor por metro cuadrado de descarachado	\$/m2	\$/m2	Muestra en costo que tiene un metro cuadrado de descarachado de muros.
Rendimiento vaciado de hormigón	RVH	M3/min.	Es la cantidad de metros cúbicos vaciados por minuto de trabajo, para cada metodología empleada de vaciado de hormigón. En otras palabras se comparará la velocidad de vaciado del hormigón.
Costo por vaciado de hormigón	CVH	\$/m3	Es el valor en pesos del vaciado de un metro cúbico de hormigón.

Para el cálculo de los indicadores mostrados en la tabla 3, es necesaria la obtención de datos en terreno mostrados en la tabla 4.

Tabla 4: Datos Necesarios que se deben medir en terreno.

Nombre	abreviación	unidad	Significado
Fecha	F	dd-mm	Fecha en que se registró la información
Tiempo de inicio	TI	h:mm	Tiempo de inicio de la actividad
Tiempo de término	TT	h:mm	Tiempo de término de la actividad
Duración total	DT	h:mm	Duración de la actividad.
Tiempo encendido de la bomba	TB	h:mm	Tiempo en que la bomba de hormigonado se encuentra encendida.
Tiempo de vaciado	TV	H:mm	Tiempo de vaciado del hormigón, desde que inicia la descarga hasta que se acaba el hormigón del camión.
Costo	C	\$	Cantidad de dinero que cuesta alguna actividad.
Metros cúbicos de hormigón	M3	M3	Muestra la cantidad de metros cúbicos vaciados por camión mixer.

Los datos obtenidos en terreno se utilizaron para calcular una serie de indicadores para evaluar el desempeño productivo y desempeño energético de cada actividad en cada caso.

3.3. Obtención de datos en terreno.

Los datos utilizados en la confección del estudio de caso fueron obtenidos en terreno en la obra “Edificio El Llano” a través de visitas en un período cercano a dos meses, comprendidos entre el 04 de Abril de 2017 y el 17 de Agosto de 2017. Dichas mediciones fueron realizadas por el mismo autor del trabajo.

Las actividades observadas fueron el vaciado del hormigón para losas y muros, descarachado de muros y movimientos en general de grúa torre. Para cada una de las actividades se pensó una medida de eficiencia energética, desde el punto de vista de ahorro de consumo de energía, con el fin de implementarlas. Para cada actividad se realizaron varias mediciones con el fin de obtener valores promedios de los parámetros necesarios para el cálculo de indicadores de productividad. A su vez se obtiene el consumo de energía de cada uno de las herramientas y máquinas involucradas en cada actividad a partir de la información entregada por los fabricantes de dichos equipos.

Los equipos utilizados para la realización de mediciones en terreno fueron principalmente un cronómetro con el propósito de medir los tiempos de ejecución de las actividades, un lápiz y un cuaderno de registro de datos.

El método de registro que se utiliza para cada una de las mediciones es la utilización de tablas que incluyen los parámetros necesarios para el cálculo posterior de los indicadores.

3.3.1. Obtención de datos para la tarea de descarachado de muros

Para la obtención de datos de la tarea de descarachado de muros, primero se identifican todas las actividades posibles para esta tarea. Así se tiene lo siguiente:

- Trabajo Productivo: descarachado de muros (D).
- Trabajo Contributivo: Instrucciones (I), conectar cincelador a tablero eléctrico (C), mover banquillo para descarachado de muro en altura (MB).
- Trabajo No Contributivo: tiempo ocioso debido a que el trabajador se encontraba conversando, preocupado de su celular (O) o simplemente descansando, esperas debido principalmente a que no estaba completa la tarea anterior de descimbrado de losas (E), ausencias del trabajador de su lugar de trabajo (A) como cuando iba al baño por ejemplo.

Luego se registraban en intervalos aleatorios de tiempo cuando los operarios se encontraban realizando trabajo productivo o no. En la tabla 4 se muestra el formato utilizado para el registro de estos datos.

Tabla 5: formato registro de actividades.

Fecha:	06-06-2017						
#	D	I	MB	C	O	E	A
1	1						
2						1	
3		1					
4			1				
5					1		

Para obtener resultados con un nivel de confianza del 95% y un error del 5%, se deben tener por lo menos 384 muestras según lo muestra la tabla 5.

Tabla 6: Muestras mínimas necesarias para muestreo del trabajo.

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

Luego se registraron datos durante un período de 7 días para el caso de trabajadores por la empresa, mientras que para el caso del personal subcontratado se tomaron medidas durante un período de 5 días.

3.3.2. Obtención de datos para la tarea de vaciado de hormigón.

Para la tarea de vaciado del hormigón con capacho, se midió el tiempo total del ciclo de ida y de vuelta de un capacho. Esto contempla desde que el capacho está a los pies del camión mixer y este comienza a vaciar el hormigón dentro del capacho, luego desde que la grúa torre levanta el capacho y lo lleva al lugar donde quiere vaciar el hormigón, hasta que el capacho retorna vacío nuevamente a los pies del camión. Este tiempo se registraba utilizando la siguiente tabla:

Tabla 7: Formato de registro de tiempos ciclos de capachado.

camión	ítem	Fecha	tc	Elemento hormigonado
1	1	30-07-2017	0:05:18	Muro
1	2	30-07-2017	0:05:21	Muro
1	3	30-07-2017	0:04:35	Muro
1	4	30-07-2017	0:05:07	Muro
1	5	30-07-2017	0:04:32	Muro
1	6	30-07-2017	0:04:47	Muro
1	7	30-07-2017	0:06:53	Muro
1	8	30-07-2017	0:04:28	Muro

Otra técnica que se utilizó para obtener el promedio de tiempo de vaciado de hormigón con capacho, fue medir el tiempo desde que se inicia el vaciado del camión mixer, hasta que se acaba el hormigón del camión. Este tiempo se divide por la cantidad de viajes que tuvo que hacer la grúa para vaciar el camión por completo. Este método se registró utilizando la tabla 8.

Tabla 8: Formato alternativo para registro de tiempos de ciclos de capachado.

#	Fecha	Hora inicio descarga	Hora fin descarga	m3	método descarga	t descarga	N° viajes	t promedio viaje grúa
1	04-04-2017	16:20	17:10	7,5	capacho	0:50	15	0:03:20
2	05-04-2017	16:30	17:20	7,5	capacho	0:50	15	0:03:20
3	10-04-2017	16:20	17:20	7,5	capacho	1:00	15	0:04:00
4	11-04-2017	16:50	17:45	7,5	capacho	0:55	15	0:03:40

Para el caso del vaciado de hormigón con bomba, ya sea con la torre de distribución o tan sólo con tubería, se midió el tiempo que tardaba en vaciar un camión de hormigón completo, esto se registraba utilizando el formato mostrado en la tabla 9.

Tabla 9: Formato de registro tiempo vaciado de hormigón con bomba.

ítem	fecha	m3	Descarga		elemento	Tiempo descarga
			inicio	término		
1	14-03-2017	7,5	10:20	10:40	losa	0:20
2	14-03-2017	7,5	11:00	11:20	losa	0:20
3	14-03-2017	7,5	11:50	12:16	losa	0:26
4	14-03-2017	7,5	12:35	12:55	losa	0:20
5	14-03-2017	7,5	12:59	13:20	losa	0:21
6	14-03-2017	7,5	13:30	13:50	losa	0:20

Otra medición que se tomó fue el tiempo en que se encontraba la bomba encendida desde que llegaba el primer camión de hormigón hasta que se vaciara el último camión. Este tiempo contemplaba el tiempo desde que se encendía la bomba, cuando se le echa la primera lechada de cemento antes de comenzar con el hormigonado, luego el hormigonado de todos los camiones programados en el día y finalmente el lavado de la bomba. Con esto se puede calcular el mal gasto de energía consumida por la bomba por el no uso de ésta. Este mal gasto, como se mencionará más adelante se produce principalmente por el retraso de despacho de camiones por parte de la planta Hormigonera.

4. CÁLCULO DE INDICADORES DE PRODUCTIVIDAD Y CONSUMO ENERGÉTICO.

En el siguiente capítulo se muestran los resultados al procesar los datos obtenidos en terreno utilizando las técnicas mencionadas en el punto 3.3.1 y 3.3.2.

4.1. Descarachado de muros.

Para el descarachado de muros se definen dos casos. El caso 1A corresponde al trabajo realizado por 2 trabajadores contratados por la empresa constructora. El caso 1B corresponde al trabajo realizado por el subcontrato.

4.1.1. Indicadores de productividad caso 1A.

Para la toma de muestras en este caso se tenía a dos trabajadores, denominados “kangueros”, realizando las labores de descarachado de los subterráneos y piso 1°. Cabe mencionar que estos dos trabajadores estaban contratados por la empresa constructora y estaban bajo la supervisión del capataz de esos pisos. La información corresponde a los datos tomados entre el 5 de Junio del 2017 y 13 de Junio del 2017.

Los datos registrados se aprecian en el anexo 1. En la figura 6 se muestra gráficamente los niveles de actividad para el análisis realizado y en la figura 7 se indica la distribución de estos niveles de actividad en las diferentes tareas en que se descompone esta misma.

Figura 8: Distribución de los niveles de actividad tarea descarachado de muros caso 1A

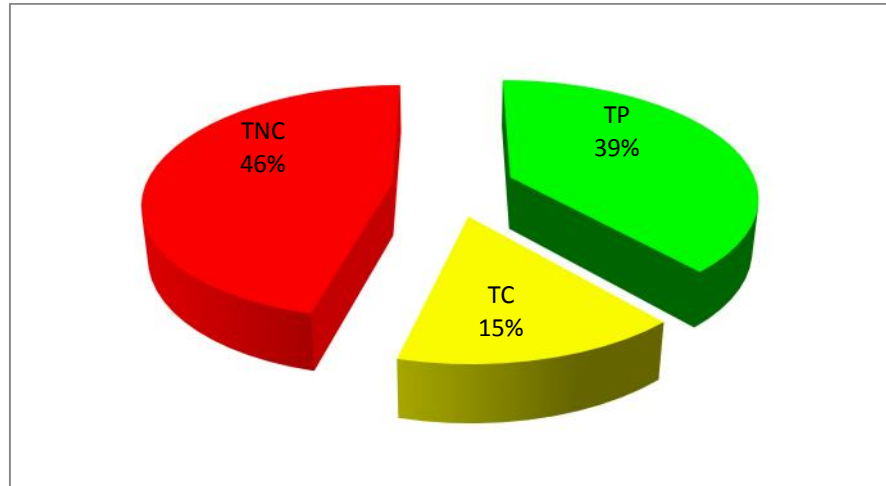
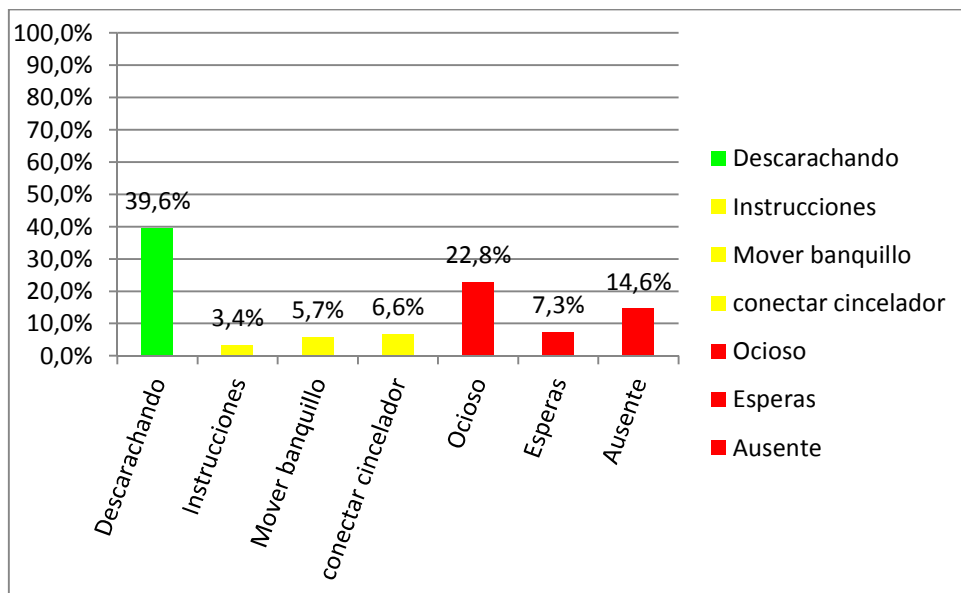


Figura 9: Distribución de actividades para descarachado de muros caso 1A



Se debe mencionar que las mediciones se hicieron aleatoriamente, independientemente del trabajador, vale decir que se supuso que el trabajo realizado por ambos “kangueros” era como si fuese realizado por tan sólo uno.

Otro indicador que se calculará es el valor por metro cuadrado de descarachado. Para esto se tomará en cuenta el valor por el arriendo de los equipos, ya que la empresa constructora no cuenta con martillos demolidores propios. También se considera el sueldo de cada uno de los obreros. Estos datos fueron preguntados al administrativo de la obra y al encargado de adquisiciones, cuyos valores se muestran en la tabla 10.

Tabla 10: Valores descarachado muros empresa constructora.

Descripción	Valor
Valor mensual por arriendo de equipo (C/U)	\$30.000.-
Sueldo mensual por trabajador (costo constructora)	\$585.000.-

Cabe mencionar que el sueldo costo constructora incluye el sueldo líquido del trabajador, más las cotizaciones obligatorias de AFP y Salud, más las cotizaciones de accidentes del trabajo y el aporte a la cuenta de ahorro de indemnización.

Luego de los datos de la tabla 10 y considerando que son dos los “kangueros” que realizan el trabajo, se tiene un costo mensual por motivo de descarachado de muros \$1.230.000.-

Para los 7 días en que se tomaron las muestras, además se tomó en cuenta el avance obtenido por los “kangueros”, considerando los metros cuadrados de descarachado. Este dato se obtuvo simplemente comparando el avance obtenido en el día uno y el avance obtenido el día 7 y se calcularon los metros cuadros por plano del proyecto.

Los metros cuadrados de descarachado en 7 días laborales de trabajo considerando un porcentaje de trabajo productivo de 39,6% fue de 566 m2.

Luego con este valor y regla de tres simples se puede tener una proyección de la cantidad de metros cuadrados que pueden descarachar ambos trabajadores en un mes. Así se tiene:

$$M2 \text{ mensuales} = (566 \text{ m}^2 \times 20 \text{ días laborales por mes}) / 7 \text{ días} = 1617,14 \text{ m}^2.$$

Así se obtiene que ambos trabajadores avanzan 1617,14 m2 mensuales, lo que si dividimos el monto mensual que gasta la empresa por tener la tarea de descarachado contratado se obtiene un valor de \$761 por metro cuadrado.

4.1.2. Indicadores de productividad caso 1B.

Se implementa medida de eficiencia energética mencionada en el capítulo 3.1.2. El contratista de descarachado hace ingreso a la obra el día lunes de 3 Julio de 2017. Las mediciones se realizan durante el período de una semana y se comienzan a registrar desde el día lunes 17 de Julio de 2017 al día 21 de Julio de 2017, cuyos trabajos fueron realizados en el piso 2° y 3° del edificio 2. En la figura 8 se muestra gráficamente los niveles de actividad para el análisis realizado y en la figura 9 se muestra la distribución

de estos niveles de actividad en las diferentes tareas en que se descompone esta misma.

Figura 10: Distribución de los niveles de actividad tarea descarachado de muros caso 1B

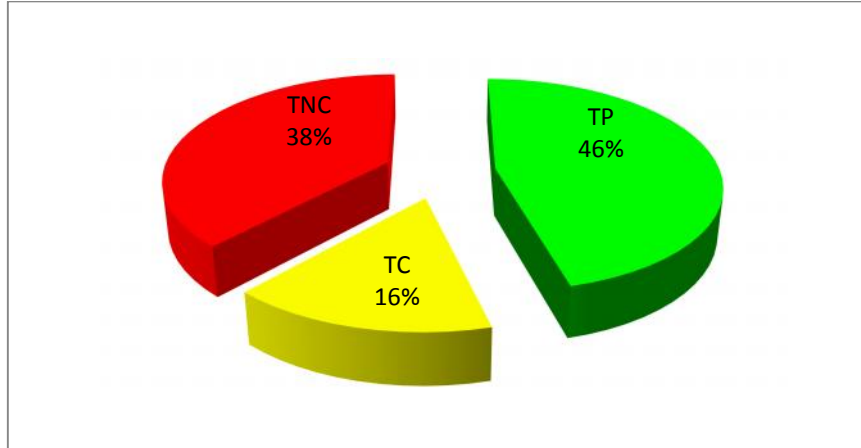
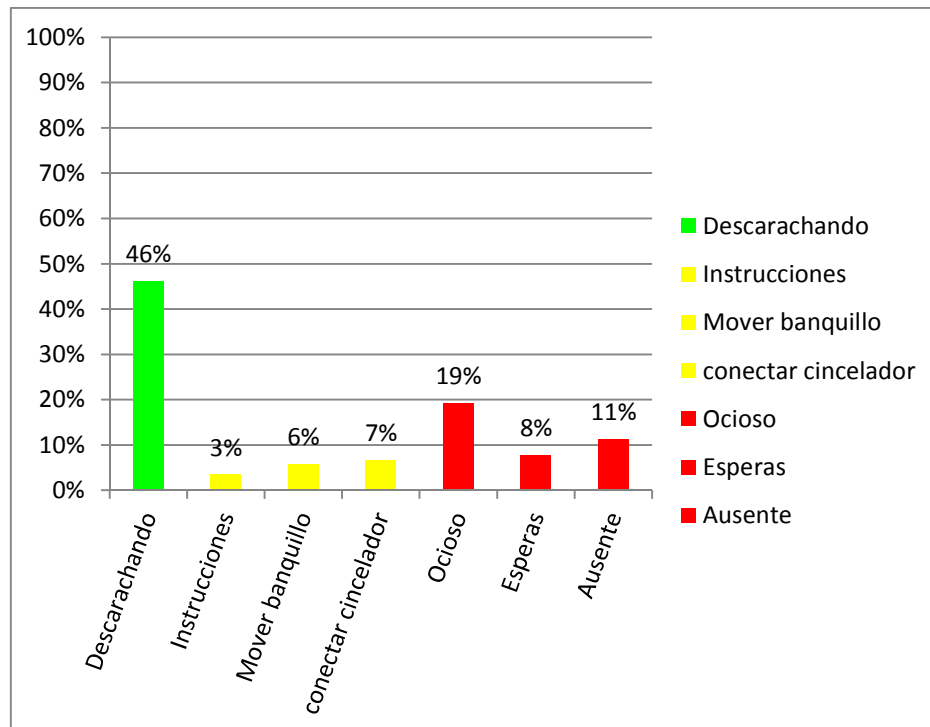


Figura 11: Distribución de actividades para descarachado de muros caso 1B



En relación al costo por descarachado, este se obtuvo del contrato que se tiene con el contratista. Este corresponde a \$1.250.- por metro cuadrado. Este valor contempla no sólo el descarachado de muros, sino que también el quemado de estos, el corte de clavos y el pulido. Por lo que si se descompone este precio, ponderando cada trabajo, se tienen los valores por metro cuadrado mostrados en la tabla 11

Tabla 11: Valores por metro cuadrado de descarachado de muros.

Tarea	Valor
Descarachado por m2	\$ 500.-
Pulido por m2	\$ 450.-
Quemado de muros por m2	\$ 200.-
Corte de clavos por m2	\$ 100.-

Luego llegamos a que el monto neto por metro cuadrado de descarachado de muros es de \$ 500.- más el impuesto del valor agregado, luego se tiene que el valor total es de \$595 por metros cuadrado de descarachado de muro subcontratado.

4.1.3. Medición de consumo energético caso 1A.

Como consumo energético de esta actividad se tiene el uso de 2 martillos demoledores arrendados por la empresa constructora. Los modelos de las herramientas utilizadas y el consumo eléctrico entregado por el fabricante se muestran en la tabla 12.

Tabla 12: Equipos utilizados para tarea de descarachado de muros.

Equipo	marca	MODELO	potencia de entrada [W]
martillo demoledor	MAKITA	HM0870C	1100

Según la tabla 9 cada martillo demoledor tiene una potencia de entrada de 1100 watts, por lo que con esa información se puede calcular la energía consumida por la tarea de descarachado de muros. Utilizando la información del trabajo productivo del punto 4.1.1, se puede deducir que al día el equipo está funcionando un 39% del horario laboral. Considerando que la jornada laboral comienza a las 8:00 y termina a las 18:00 horas, con una hora de almuerzo entremedio, se deduce que el equipo se encuentra funcionando 3,51 horas al día. Con esta información podemos obtener una estimación del consumo de energía eléctrica mensual por el uso de martillo demoledor para la tarea de descarachado de muros. Luego considerando que un mes tiene 20 días hábiles de trabajo laboral se tiene lo siguiente:

$$\text{Horas al mes} = 3,51 \text{ horas/día} * 20 \text{ días (hábiles)} = 70,2 \text{ horas.}$$

Luego considerando que cada martillo demoledor tiene una potencia de 1100 watts, podemos calcular el consumo eléctrico mensual por concepto del uso de esta herramienta:

$$\text{Kwh por mes} = 1100 \text{ watts} * 70,2/1000 = 77,22 \text{ kwh mensual}$$

Luego considerando que son 2 martillos cinceladores se tiene que el consumo eléctrico por concepto de uso de herramientas para la tarea de descarachado de muros con personal contratado por la constructora es de:

$$\text{Kwh} = 154,44 \text{ KWH/mes.}$$

Luego con este valor podemos calcular el indicador que relaciona el avance en metros cuadrados de descarachado de muros con el consumo energético, este es KWH/m², así se tiene que para el caso 1A:

- Consumo mensual por el uso de dos martillos cinceladores es 154,44 kwh
- Avance mensual considerando un trabajo productivo de 39,6% es de 1617,14 m².

Con los dos valores anteriores tenemos:

$$P = \frac{154,44 \text{ KWH}}{1617,14 \text{ m}^2} = 0,096 \text{ kw /m}^2$$

4.1.4. Medición de consumo energético caso 1B.

Realizando el mismo análisis del punto 4.1.3 se obtiene que el consumo eléctrico debido al uso de un martillo demoledor modelo MAKITA es:

$$\%TP = 46\%$$

Luego Las horas al mes utilizando el martillo cincelador es:

$$\text{Horas al mes} = 0,46 * 9 * 20 = 82,8 \text{ horas/mes}$$

De esta forma el consumo en KWH por concepto de uso de martillo cincelador para el caso de mano de obra subcontratada es:

$$\text{KWH} = 1100 \text{ watts} * 82,8/1000 = 91,08 \text{ KWH}$$

Esto corresponde a una reducción del 41,02% del consumo eléctrico, por lo que en términos de consumo de energía, la medida implementada si corresponde a una medida de eficiencia energética.

Al igual que en el punto 4.1.3 se debe calcular el indicador que relaciona el avance en metros cuadrados de descarachado de muros con el consumo energético. Pero antes

debemos tener el avance en metros cuadrados obtenidos en este caso. Para ello utilizaremos el dato de trabajo productivo de 46%, además considerar que es sólo un trabajador, y que fueron 5 días laborales los registrados, se tiene lo siguiente:

$$\frac{m^2}{\text{día}} = \frac{566 \frac{m^2}{2}}{7} \times \frac{46\%}{39,6\%} = 46,92 \frac{m^2}{\text{día}}$$

- Consumo mensual por el uso de un martillo cincelador es 91,08 kwh
- Avance mensual considerando un trabajo productivo de 46% es de 938,4 m²

Con los dos valores anteriores se tiene:

$$P = \frac{91,08 \text{ kw}}{938,4 \text{ m}^2} = 0,097 \text{ k w/m}^2$$

4.2. Hormigonado de muros y losas.

Para la actividad de hormigonado de muros y losas se medirá el tiempo de vaciado de hormigón de un camión mixer. Luego como indicador de productividad se obtendrá cuantos metros cúbicos de hormigón son vaciados por minuto para cada uno de los casos, vale decir se medirá principalmente la velocidad de vaciado de hormigón. Para esta tarea se estudiarán dos casos. El caso 2A corresponde a la metodología de vaciado de hormigón mediante grúa y capacho para el llenado de muros, y mediante el uso de la bomba de hormigón para el llenado de las losas. Mientras que el caso 2B corresponde a la metodología de vaciado del hormigón mediante la metodología de bomba de hormigón y torre de distribución para losas y muros.

4.2.1. Indicadores de productividad caso 2A.

El caso base corresponde a la utilización de una bomba de hormigonado para el vaciado de hormigón de losas, y mediante la utilización de la grúa torre y un capacho de descarga vertical tipo mamut de 500 litros, para el hormigonado de muros.

En la tabla 13 se muestran los resultados obtenidos al tomar el tiempo de vaciado utilizando la metodología de vaciado de capacho más grúa torre, para el hormigonado de muros. En dicha tabla se obtiene que el rendimiento promedio de vaciado de hormigón es de 0,137 metros cúbicos por minuto.

Tabla 13: Rendimiento promedio vaciado de hormigón con capacho y grúa torre para hormigonado de muros.

n° muestras	m ³ /min promedio	Máx.	min	desviación
33	0,137	0,200	0,100	0,0274

En la tabla 14 se muestran los resultados obtenidos al tomar el tiempo de vaciado utilizando la metodología de vaciado de la bomba de hormigonado, para el llenado de losas. En dicha tabla se obtiene que el rendimiento promedio de vaciado de hormigón es de 0,370 metros cúbicos por minuto.

Tabla 14: Rendimiento promedio de vaciado de hormigón con bomba para hormigonado de losas.

n° muestras	m3/min promedio	Máx.	min	desviación
33	0,370	0,577	0,227	0,124

Además del indicador de m3/min se calculará el valor por metro cúbico para la tarea de vaciado de hormigón utilizando la grúa y capacho, y la bomba de hormigón. Para esto se necesita los valores de arriendo mensual tanto de la bomba de hormigón como de la grúa, estos valores se obtienen del contrato de arriendo de estas maquinarias los cuáles se muestran a continuación:

Tabla 15: Valores de arriendo mensual de bomba estacionaria de hormigón y grúa torre

Descripción	unidad	cantidad	valor [UF]
Arriendo mensual grúa torre	mes	1	70
Mantenimiento mensual grúa torre	unidad	1	7
Operador grúa torre	mes	1	45
Servicio Spot bomba estacionaria	m ³	1	0,35
Tarifa servicio bomba estacionaria más TDH	m ³	1	0,3
Volumen mínimo mensual por uso bomba	m ³	770	

Con los valores de arriendo mensual de grúa torre y bomba estacionaria podemos obtener el costo mensual por vaciado de hormigón. Para ello además de los datos de la tabla 15, se necesita la cantidad de hormigón colocado en un mes en particular. Esta información se obtiene de los registros entregados por la constructora que se encuentran en el anexo en las tablas 23, 24, 25 y 26. De aquí se obtiene que durante el mes de Mayo del año 2017 fueron vaciados 341,5 m³ de hormigón utilizando una bomba estacionaria, mientras que fueron vaciados 401 m³ de hormigón utilizando la grúa torre y capacho. Para obtener un valor por metro cúbico de hormigón para este último método se debe estimar el porcentaje de tiempo que se utilizó la grúa durante el mes de Mayo para esta tarea, así utilizando la información obtenida en la tabla 14, y considerando que durante el mes de Mayo hubo 22 días hábiles, cada uno con 9 horas laborales, se tiene lo siguiente:

$$\% = \frac{\frac{401 \text{ m}^3}{0,137 \text{ m}^3/\text{min}}}{22 \text{ días} \times 9 \text{ hrs} \times 60 \text{ mín}} \times 100 = 24,64\%$$

Así se estima que del total de tiempo de uso de grúa, un 24,64% del tiempo es utilizado para la tarea de vaciado de hormigón con capacho en el mes de Mayo. De esta manera tenemos que el valor por vaciado de hormigón utilizando grúa y capacho es el siguiente:

$$\$ \frac{\text{m}^3}{\text{capachado}} = \frac{0,2464 \times (70 + 7 + 45)}{401} = 0,075 \text{ UF/m}^3$$

Adicional a lo obtenido, de la tabla 15 se tiene que para el vaciado de hormigón mediante el método de bomba estacionaria, el valor por metro cúbico es de 0,35 UF/m³.

4.2.2. Indicadores de productividad caso 2B.

En la tabla 16 se muestran los resultados obtenidos al tomar el tiempo de vaciado utilizando la metodología de vaciado de la bomba de hormigonado para el llenado de losas, utilizando torre de distribución de hormigón o TDH. En dicha tabla se obtiene que el rendimiento promedio de vaciado de hormigón es de 0,371 metros cúbicos por minuto.

Tabla 16: Rendimiento promedio de vaciado de hormigón con bomba y TDH para hormigonado de losas.

n° muestras	m ³ /min promedio	Máx.	min	desviación
25	0,371	0,625	0,250	0,098

En la tabla 17 se muestran los resultados obtenidos al tomar el tiempo de vaciado utilizando la metodología de vaciado de la bomba de hormigonado para el llenado de losas, utilizando torre de distribución de hormigón o TDH. En dicha tabla se obtiene que el rendimiento promedio de vaciado de hormigón es de 0,291 metros cúbicos por minuto.

Tabla 17: rendimiento promedio de vaciado de hormigón con bomba y TDH para hormigonado de muros.

n° muestras	m ³ /min promedio	Máx.	min	desviación
36	0,291	0,500	0,150	0,0830

Adicional a lo obtenido, al igual que en el punto 4.2.1 se estimará el valor por metro cúbico de hormigonado utilizando una bomba estacionaria y una torre de distribución de hormigón. Este valor se obtiene de los datos de la tabla 15, en donde se indica que este valor es de 0,3 UF/m³.

4.2.3. Medición de consumo energético caso 2A.

Para este caso se debe estimar el consumo energético que tiene la grúa para la tarea de hormigonado de muros con capacho. Esta estimación la podemos obtener del trabajo realizado por la grúa al momento de capachar el hormigón, luego utilizando la fórmula de trabajo se tiene:

Ecuación 1.

$$T = F \times d$$

Dónde:

- T = trabajo realizado por la grúa.
- F = Fuerza
- D= altura que sube y baja el capacho.

Para aplicar la ecuación 1 debemos obtener la fuerza aplicada, la cual está descompuesta principalmente por el peso del hormigón y el peso del capacho. Luego la fuerza se descompone de la siguiente manera:

Ecuación 2

$$F = V_H \times \gamma_H \times x \ N + m \times g \times x \ N$$

Dónde:

- V_H = Volumen de hormigón contenido en el capacho, que corresponde a 500 litros.
- γ_H = densidad del hormigón, 2.4kgf/lit
- h = altura que sube el capacho.
- N = número de veces que sube y baja el capacho
- m = masa del capacho que corresponde a 155 kilos según proveedor.
- g = aceleración de gravedad, equivalente a 9,8 m/s²

Para aplicar la ecuación 2, se considerará un camión mixer completo, vale decir con 7,5 m³ de hormigón, lo que considerando que el capacho tiene una capacidad de 500 litros, se obtiene que la grúa realizará 15 viajes para poder vaciar el camión. Además para la estimación, se considerará que el avance de la obra se encuentra en el cuarto piso, esto implica que la altura desde la cota cero es de 25 metros tal como lo muestra la imagen 12. Con esta información tenemos el siguiente cálculo de trabajo de la grúa:

$$T = 500 \text{ lt} \times \frac{2,4 \text{ kgf}}{\text{m}^2} \times 25 \text{ mt} \times 15 + 155 \text{ kg} \times \frac{9,8 \text{ m}}{\text{s}^2} \times 25 \text{ mt} \times 15$$

Así se obtiene que el trabajo realizado por la grúa es 1139700 kgf m.

Ahora se necesita transformar este valor obtenido a KWH, luego se realizará una transformación de unidades, pasando de kgf m a Joule y es esta última unidad se transformará el resultado a KWH. Esto se procede conociendo la siguiente transformación de unidades:

$$1 \text{ kgf m} = 9,807 \text{ Joule}$$

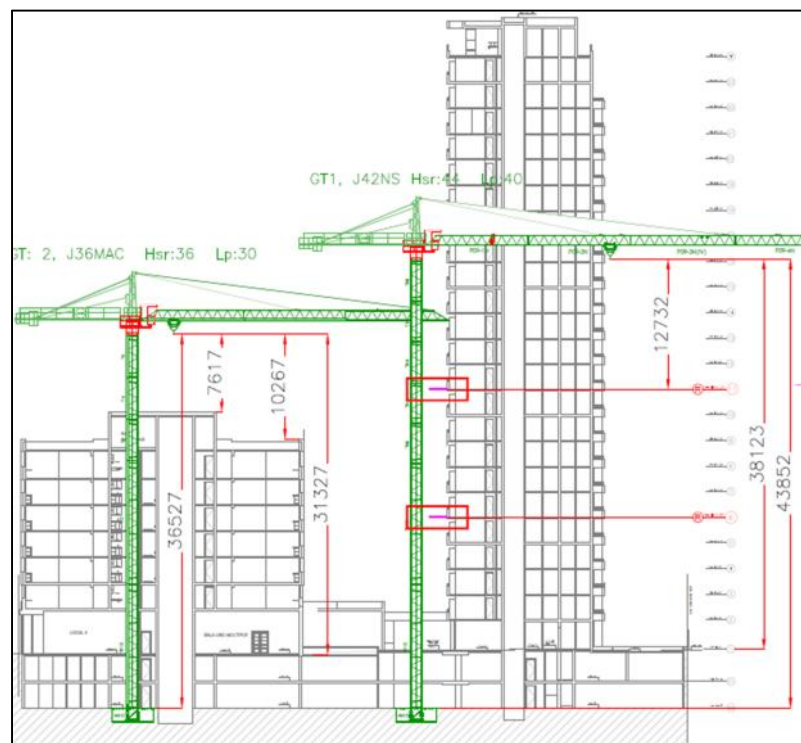
Además

$$1 \text{ Joule} = \frac{1}{3600000} \text{ kwh}$$

Con estas dos equivalencias se tiene lo siguiente:

$$T = \frac{9,807}{3600000} 1139700 \text{ KHW} = 3,1 \text{ kwh}$$

Figura 12: Altura de grúa.



Ahora bien, de la tabla 13 se tiene que el rendimiento de vaciado de hormigón con capacho es de 0,137 m³/min, con este dato se puede estimar que la descarga de un camión con capacho tiene una duración de 55 minutos aproximadamente. Con este valor se puede obtener el consumo energético por unidad de metro cúbico de hormigón, así se obtiene lo siguiente:

$$\frac{k w}{m^3} = \frac{3,1 kw \times \frac{55}{60}}{7,5 m^3} = 0,379 \frac{kw}{m^3}$$

4.2.4. Medición de consumo energético caso 2B.

Para este caso se debe estimar el consumo energético tanto de la bomba de hormigón, como de la torre de distribución. Se comenzará estimando el consumo de la bomba estacionaria de hormigón por metro cúbico de hormigón, para ello se necesita el consumo de diésel de la bomba, este dato se obtiene por la información proporcionada por el fabricante de la bomba estacionaria, cuyos valores se muestran en la tabla 18.

Tabla 18: Consumo de diésel de bomba estacionaria PUTZMEISTER BSA -1400D

consumo	galones por hora
Ralentí	6,1
Full capacidad	11,57

De la tabla 18 se transformara los galones por hora (GPH) a litros por minuto (LPM), así se obtiene la tabla 19.

Tabla 19: Consumo de diésel de bomba estacionaria en litros por minuto.

consumo	LPM
Ralentí	0,38
Full capacidad	0,73

Luego para obtener el consumo energético de la bomba estacionaria en KWH, se necesita el tiempo promedio que se encuentra la bomba encendida para la tarea de hormigonado, tanto en ralenti como a full capacidad, para ello se tomaron tiempos de hormigonado en distintos días, cuyos datos se encuentran reflejados en las tablas 26 y 27 del anexo. Cabe mencionar que el tiempo ralenti es el tiempo en que la bomba se encuentra encendida sin bombear, esto debido a los atrasos de la llegada de camiones mixer a la obra generada por la planta de hormigón. Además utilizando los datos de la tabla 19, se puede obtener el consumo promedio de litros por metro cúbico de hormigón, cabe mencionar que para el tiempo de ralenti se agregaron 45 minutos adicionales, esto debido a que se consideró que la bomba se debe encender 15 minutos antes de comenzar el hormigonado y luego de terminar el servicio de bombeo se debe lavar la bomba, cuyo tiempo estimado de lavado es de 30 minutos promedio. Con todo esto se arma la tabla 20:

Tabla 20: Registro de datos de tiempos de hormigonado y consumo de litros por metros cúbicos de la bomba.

Fecha hormigonado	hora inicio ti	hora final tf	m3 descarga	T descarga	tf-ti [min]	m3/min promedio	min descarga	min totales	min ralei	lt/m3
27-04-2017	11:10	16:35	80	0:19	5:25	0,406	198	325	172	2,62
10-05-2017	14:40	16:33	22	0:18	1:53	0,442	50	113	108	3,52
17-05-2017	12:10	13:58	22,5	0:17	1:48	0,459	50	108	103	3,36
05-06-2017	9:45	14:05	52	0:21	4:20	0,393	133	260	172	3,12
06-06-2017	10:40	13:40	28	0:18	3:00	0,383	74	180	151	3,98
07-06-2017	15:05	18:00	30	0:33	2:55	0,225	134	175	86	4,35
08-06-2017	14:55	17:20	22,5	0:33	2:25	0,258	88	145	102	4,58
12-06-2017	15:35	17:30	22,5	0:21	1:55	0,350	65	115	95	3,71
01-08-2017	13:50	15:30	22	0:30	1:40	0,250	88	100	57	3,90
04-08-2017	10:25	11:50	19	0:18	1:25	0,358	54	85	76	3,59
05-08-2017	8:40	11:45	34	0:20	3:05	0,353	97	185	133	3,57
07-08-2017	11:25	15:55	37,5	0:23	4:30	0,333	113	270	202	4,25
08-08-2017	14:10	18:10	44,5	0:27	4:00	0,282	158	240	127	3,68
11-08-2017	15:42	17:20	22,5	0:26	1:38	0,305	74	98	69	3,57
17-08-2017	14:25	17:30	30	0:22	3:05	0,356	85	185	145	3,91
18-08-2017	14:45	17:30	30	0:29	2:45	0,291	103	165	107	3,86

Cada una de las columnas de la tabla 20 indica lo siguiente:

- Fecha hormigonado: día de hormigonado en que se utilizó la bomba.
- Hora inicio ti: hora en que se comenzó a descargar el primer camión del día.
- Hora final tf: hora en que se terminó de descargar el último camión del día.
- M3 descarga: cantidad total de metros cúbicos que se descargaron en el día con la bomba estacionaria.
- T descarga: es el tiempo promedio de descarga que tardo la bomba en vaciar un solo camión.
- Tf-ti: es el tiempo total que estuvo encendida la bomba en la fecha indicada.
- M3/min promedio: es el rendimiento de descarga de la bomba.
- Min descarga: son los minutos reales que se utilizó la bomba para descargar.
- Min totales: son los minutos totales que duro la tarea de descarga de hormigón en la fecha indicada, vale decir desde que llego el primer camión de hormigón hasta que se fue el último camión de hormigón del día.
- Min ralei: son los minutos en que la bomba se encuentra encendida pero sin estar bombeando más 45 minutos.
- Lt/m3 : se obtiene de la fórmula siguiente

$$\frac{lt}{m3} = \frac{0,38 \times minralei + 0,73 \times min\ descargaa}{m3\ descargaa}$$

Así con la tabla 20 tomando el promedio de la última columna se tiene que la bomba utiliza en promedio 3,72 litros por metro cúbico de hormigón. De esta forma y mediante la ecuación 3 se puede obtener el indicador de kwh/m3

Ecuación 3

$$\frac{kw}{m^3} = PC \times \gamma_{diesel} \times CDB \times 0,001163kw$$

En donde:

- PC: poder calorífico del diésel, tiene unidades de kcal/kg.
- γ_{diesel} : densidad del diésel, tiene unidades de kg/litros.
- CDB: Es el consumo de diésel de la bomba estacionaria tiene unidades de litros/m3.

Luego reemplazando los valores en la ecuación 5 se tiene:

$$\frac{kw}{m^3} = 10900 \frac{kcal}{kg} \times 0,8633 \frac{kg}{lt} \times 3,72 \frac{lt}{m^3} \times 0,001163 kw = 40,71 \frac{kw}{m^3}$$

Se obtiene que el consumo de energía por metro cúbico de hormigón bombeado con la bomba estacionaria es de 40,71. A este valor se le debe incorporar la energía consumida por la torre de distribución la cuál utiliza energía eléctrica. Para ello obtenemos el valor entregado por el fabricante en donde indica que la potencia del motor eléctrico es de 11KW. Al igual que con la bomba se debe calcular el indicador de consumo energético por metro cúbico de hormigón, para esto se debe tomar el tiempo en que se encuentra encendida la torre de distribución por metro cúbico de hormigonado. Para ello de la tabla 20 se puede obtener el promedio que dura la tarea de hormigonado dependiendo de los metros cúbicos que se vacían en un día. De esta forma se puede construir la siguiente tabla:

Tabla 21: datos para obtener tiempo de encendido de torre de distribución por unidad de metro cúbico de hormigón

Fecha hormigonado	hora inicio ti	hora final tf	m3 descarga	tf-ti	horas/m3
27-04-2017	11:10	16:35	80	5:25	0,07
10-05-2017	14:40	16:33	22	1:53	0,09
17-05-2017	12:10	13:58	22,5	1:48	0,08
05-06-2017	9:45	14:05	52	4:20	0,08
06-06-2017	10:40	13:40	28	3:00	0,11
07-06-2017	15:05	18:00	30	2:55	0,1
08-06-2017	14:55	17:20	22,5	2:25	0,11
12-06-2017	15:35	17:30	22,5	1:55	0,09

01-08-2017	13:50	15:30	22	1:40	0,08
04-08-2017	10:25	11:50	19	1:25	0,07
05-08-2017	8:40	11:45	34	3:05	0,09
07-08-2017	11:25	15:55	37,5	4:30	0,12
08-08-2017	14:10	18:10	44,5	4:00	0,09
11-08-2017	15:42	17:20	22,5	1:38	0,07
17-08-2017	14:25	17:30	30	3:05	0,1
18-08-2017	14:45	17:30	30	2:45	0,09

De esta forma tomando el promedio de la columna de horas/m³ de la tabla 21 se tiene que la torre de distribución se mantiene encendida en promedio 0,09 horas por metro cúbico de hormigón bombeado, así utilizando además el dato entregado por el fabricante del equipo tenemos que en promedio se tiene un consumo por metro cúbico de hormigón de:

$$0,09 \frac{\text{oras}}{\text{m}^3} \times 11 \text{ kw} = 0,99 \text{ kw} / \text{m}^3$$

De este modo se tiene que el consumo energético por metro cúbico de hormigón para el sistema de bomba estacionaria con torre de distribución de hormigón es de:

$$\frac{0,99 \text{ kw}}{\text{m}^3} + 40,71 \frac{\text{kw}}{\text{m}^3} = 41,7 \frac{\text{kw}}{\text{m}^3}$$

5. ANÁLISIS.

En este capítulo se analizarán los resultados obtenidos en el capítulo anterior, para ello en la siguiente tabla se muestra un resumen con los indicadores obtenidos:

Tabla 22: Resumen indicadores obtenidos para tarea de descarachado

Caso	Indicador	Unidad	Valor
caso 1A	Precio por metro cuadrado	\$/m ²	761
Caso 1B	Precio por metro cuadrado	\$/m ²	595
Caso 1A	Consumo energético por metro cuadrado	KWH/m ²	0,096
Caso 1B	Consumo energético por metro cuadrado	KWH/m ²	0,097

Tabla 233: Resumen indicadores obtenidos para tarea de hormigonado

Caso	Indicador	Unidad	Valor
Caso 2A	velocidad de vaciado de hormigón en muros	m3/min	0,137
Caso 2B	velocidad de vaciado de hormigón en muros	m3/min	0,291
Caso 2A	velocidad de vaciado de hormigón en losa	m3/min	0,37
Caso 2B	velocidad de vaciado de hormigón en losa	m3/min	0,371
Caso 2A	precio por metro cúbico de hormigón	UF/m3	0,075
Caso 2B	precio por metro cúbico de hormigón	UF/m3	0,3
Caso 2A	Consumo energético por metro cúbico de hormigón	KWH/m3	0,379
Caso 2B	Consumo energético por metro cúbico de hormigón	KWH/m3	41,7

5.1. Descarachado de muros.

5.1.1. Análisis de productividad.

El trabajo de descarachado en sí es una tarea que no requiere de un conocimiento muy técnico, pero sí de la habilidad del trabajador y con conocimiento en el uso del martillo demoledor.

Si se compara la figura 7 con la figura 9 mostradas en el capítulo anterior, se aprecia que para el descarachado caso 1A se tiene un porcentaje de trabajo productivo de 39%, versus un 46% para el caso 1B. Esto en términos generales indica que es más productivo la mano de obra subcontratada que la mano de obra contratada por la constructora. Esto se puede deber a varios factores. Uno de estos factores es que la mano de obra subcontratada está más calificada que la mano de obra contratada por la constructora, esto debido a que el contratista está prácticamente 100% enfocado a la tarea de descarachado, mientras que la mano de obra del caso 1A esta menos calificada y al ser de la constructora a veces realizaba otras tareas diferentes al descarachado de muros.

Otro aspecto que es importante de mencionar, es que la mano de obra subcontratada por lo general trabaja con incentivos, vale decir a la mano de obra se le paga por metas cumplidas, y no tiene necesariamente un sueldo fijo mensual, por lo que este incentivo provoca que el trabajador tenga un mejor rendimiento.

Además, cabe mencionar, que la mano de obra del caso 1A trabajo en pisos inferiores, vale decir, primer piso y primer subterráneo. Estos pisos en esta obra en particular tienen una diferencia en comparación con los pisos superiores, ya que son más altos, por lo que al tener muros más altos complica un poco las labores de descarachado de muros porque dificulta el tener que usar el martillo demoledor en lugares más altos.

Por último se pudo apreciar que para los pisos superiores existe una mayor supervisión que para los pisos subterráneos, esto debido principalmente a que en la obra a partir del piso 2° hacia arriba corresponden a departamentos, mientras que el piso 1° y subterráneo corresponden a espacios comunes y estacionamientos, por lo que existe una mayor preocupación por parte del supervisor de tener una mejor terminación para el caso de los departamentos que para el caso de los espacios comunes y estacionamientos.

Para el caso del porcentaje de trabajo contributivo, se puede apreciar que ambos casos el porcentaje es similar.

5.1.2. Análisis de consumo energético.

Desde el punto de vista de consumo energético, según la información obtenida en el punto 4.1.3 y 4.1.4, se pudo apreciar que si existe un ahorro en consumo de electricidad de un 41,02%, por lo que la medida implementada si corresponde a una medida de eficiencia energética. Cabe preguntarse si esta medida implementada afecta al avance de la obra y si realmente el haberla implementado influye o no tanto en el avance de la obra como en los costos de esta.

En términos de costos, según los resultados obtenidos, se tiene que para la constructora es mucho más conveniente realizar el trabajo con mano de obra subcontratada que realizarlo por la casa, resulta un 27% más caro realizarlo por la casa que subcontratarlo.

Para analizar esto basta con observar los avances obtenidos en el tiempo de observación. Se tiene que según lo antes mencionado, para el caso 1A se obtuvo 566 m² de avance de descarachado de muros en 7 días. Mientras que para el caso 1B se obtuvo un avance cercano al 80% de descarachado de muros de un piso. Esta información es relevante ya que el avance en m² se puede obtener mediante cubicación de los planos. Así se tiene que un piso tipo, vale decir desde el piso 2 hacia arriba, tiene 894 m² de descarachado de muros, por lo que la mano de obra subcontratado consiguió un avance de 715,2 m² en tan sólo 5 días. Este dato es muy relevante ya que indica que la mano de obra subcontratada tiene un avance muy superior a la mano de obra contratada por la constructora. Esto indica que es mucho más conveniente tener la tarea de descarachado de muros subcontratado y no por la casa, ya que si bien se gastará lo mismo, el avance es mucho más rápido.

Por otro lado en términos de consumo energético según avance, ambos casos se tiene un consumo similar, esto se produce, tal como se mencionó anteriormente, debido a que el avance entregado por la mano de obra subcontratada es mayor que la mano de

obra contratada por la constructora. Desde este punto de vista subcontratar la tarea de descarachado la principal ventaja es que se produce más utilizando los mismos recursos. Esto se ve reflejado en el índice de consumo energético por metro cuadrado en donde en ambos caso se gasta prácticamente la misma energía, pero el avance es mayor para el caso 1B que para el caso 1A.

5.2. Hormigonado de Muros y Losas.

5.2.1. Análisis de productividad.

Para el análisis de velocidad de vaciado de hormigón según la metodología implementada, se compara el vaciado de losas y de muros por separado, luego para la velocidad de vaciado de losas se tiene gráficamente lo mostrado en la figura 13, mientras que para el vaciado de hormigón de muros se tiene lo mostrado en la figura 14.

Figura 13: Comparación de vaciado de hormigón de losas.

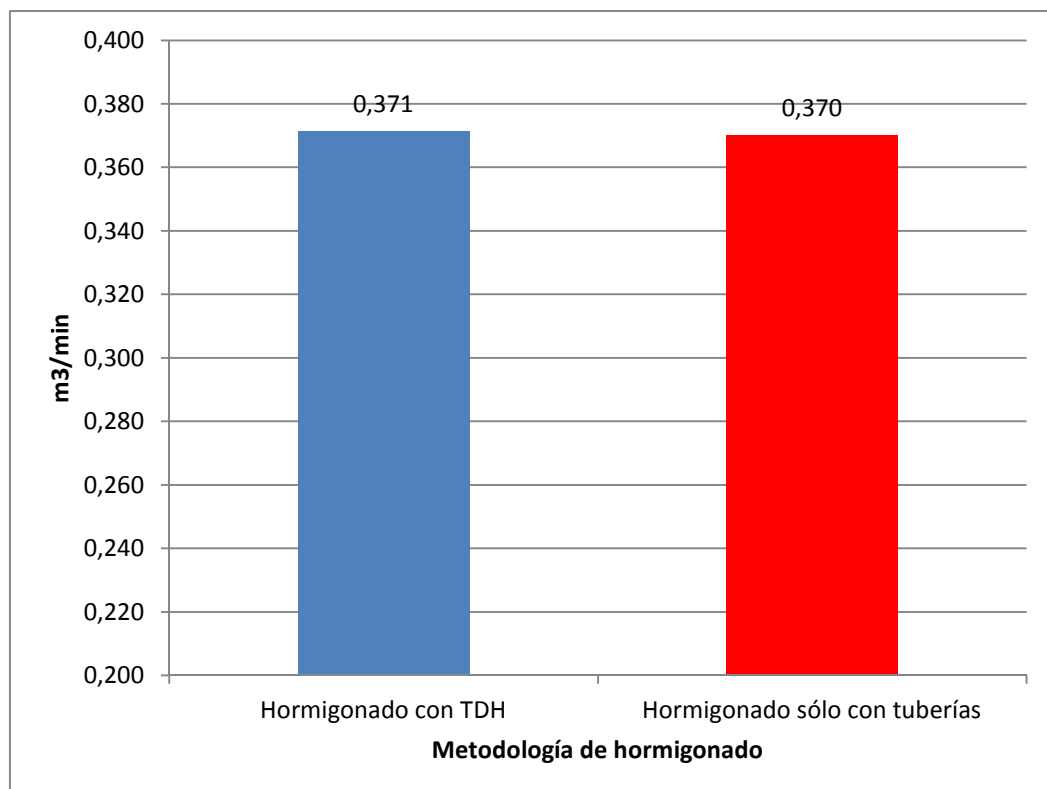
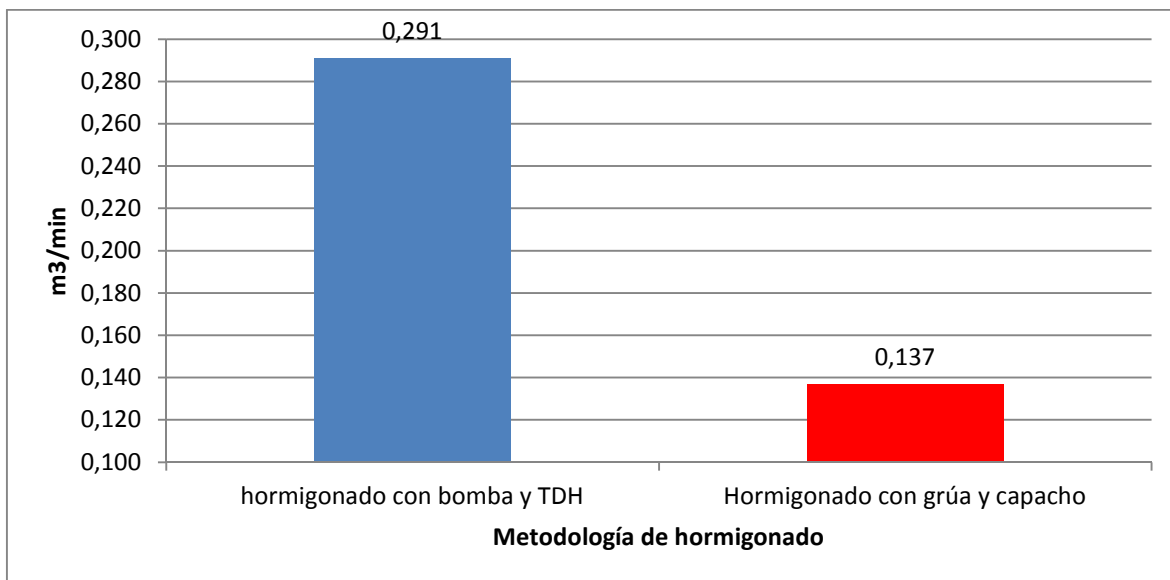


Figura 14: Comparación de vaciado de hormigón de muros.



Para este caso se realizó un estudio de la metodología empleada para el vaciado del hormigón, independientemente de los recursos humanos empleados para las labores netas de colocación de hormigón.

Como se puede apreciar de la figura 14 para el vaciado de hormigón de muros, el sistema más eficiente, o con mayor rendimiento en colocación de hormigón es el que utiliza una Bomba de hormigón en conjunto con la torre de distribución. Para el caso del vaciado de hormigón de losas, se puede apreciar de la figura 13 que la diferencia entre las metodologías empleadas no es significativa.

La ventaja que tiene el uso de TDH, es que al momento del hormigón, se libera el uso de la grúa torre para que pueda utilizarse en otras tareas, considerando que la grúa es un equipo altamente demandado en la obra, por lo que liberarla de la tarea de hormigonado resultado ser beneficioso para la obra en general permitiendo realizar otras actividades, como lo es la remoción de escombros, movimientos de fierro, descarga de materiales, entre otras cosas.

Otro aspecto que es relevante analizar para el caso del capachado de hormigón, es que la ubicación del elemento a hormigonar si es relevante en el tiempo que tarda en completarse el ciclo de capachado, que si bien no se ve reflejado en los datos incluidos en este trabajo, si fueron apreciados por el autor. Luego se pudo apreciar que mientras más lejos se encontraba el elemento a hormigonar mayor era el tiempo de ciclo de capachado. Esto último si bien parece ser algo lógico, no siempre es así, ya que hay casos en donde la cantidad de enfierradura del muro a hormigonar influye en el tiempo de vaciado del hormigón, ya que dificulta la maniobra de descarga del capacho y produce un aumento en el tiempo de ciclo de capachado.

Por otro lado se realizó un estudio en cuanto a los costos asociados en cada uno de los casos de hormigonado, considerando sólo el costo por arriendo y uso de equipos. Es por esto que para el caso de descarga de hormigón con grúa y capacho sólo se considera el valor de arriendo de la grúa, mientras que para el caso de bomba y torre de distribución se tiene un valor por metro cúbico que está dado por la cotización de arriendo de estos equipos. De esta forma al comparar ambos casos se tiene el costo monetario asociado al arriendo de equipos en el caso 2A es mucho menor que para el caso 2B. La gran diferencia es que si se utilizará el caso 2A el avance por vaciado de hormigón es mucho menor que el caso 2B tal como lo muestra la figura 14. Esto produciría costos adicionales que no se ven reflejados en el índice calculado, como gastos generales, atrasos, entre otros. Por lo que tener un costo más elevado para la tarea de hormigonado se compensa de algún modo al terminar antes la obra gruesa, aunque no haya podido ser cuantificado en este trabajo.

5.2.2. Análisis de consumo energético.

Desde el punto de vista energético para ambos casos se hizo una evaluación del consumo energético en relación a la cantidad de metros cúbicos de hormigón vaciados. Para el caso 2A se obtuvo un índice de consumo menor que para el caso 2B, esto puede reflejar en parte la diferencia entre las eficiencia de los motores eléctricos y motores diésel, un motor de un equipo eléctrico tiene una mejor eficiencia que uno a base de diésel.

6. CONCLUSIONES Y RESULTADOS.

- Cómo medidas de eficiencia energética para la construcción, no sólo existen la introducción de recambios tecnológicos, como lo sería implementar paneles solares o cambios de ampolletas de ahorro energético, sino que también se pueden tener medidas de eficiencia energética con mejoras operacionales, mediante la gestión de actividades y optimización de recursos en una obra de construcción.
- Para el caso en estudio se tiene que al subcontratar la mano de obra de descarachado de muros se consigue el objetivo de aumentar la productividad, produciendo más con los mismos recursos. Desde el punto de vista energético, si bien se esperaba obtener un ahorro de energía, esto no fue así y el consumo de energía es prácticamente el mismo.
- La introducción de nuevas tecnologías para la tarea de hormigonado como lo es el arriendo de una torre de distribución, mejora la velocidad de hormigonado para el caso de llenado de muros. Para el caso de hormigonado de losas esta mejora en la velocidad de llenado es casi imperceptible.
- Además la introducción de una torre de distribución de hormigón produce que se libere la grúa torre para otras faenas dentro de la misma obra, por lo que mejora en parte el avance de esta.
- Si bien el costo asociado al arriendo de una torre de distribución es mayor que el uso de la grúa torre con capacho, en este caso se favorece la velocidad de avance de la obra gruesa ya que al terminar antes el proyecto, se reducen costos asociados a gastos generales principalmente.
- La introducción de la torre de distribución de hormigón si corresponde a una medida de eficiencia energética desde el punto de vista que se libera la grúa para otras actividades que probablemente utilizaban métodos menos energéticamente eficientes. Por otro lado al ser un método de vaciado de hormigón mucho más rápido, reduce el tiempo de funcionamiento de los camiones de hormigón desde la planta. Por lo que si bien el porcentaje de ahorro de consumo energético no pudo ser apreciado, éste podría existir en un contexto extendido.
- Mediante una simple medición de datos en terreno, se pueden obtener indicadores de productividad. Con estos indicadores podemos evaluar los rendimientos y diferentes procesos en la construcción, en particular en las dos tareas estudiadas en este trabajo.
- Implementar medidas de eficiencia energética produce una mejora en la productividad de una obra de construcción, esto se ve reflejado en este trabajo en el estudio de la tarea de descarachado de muros y hormigonado.

- La eficiencia de un motor eléctrico como el de la grúa y el de la torre de distribución de hormigón es mayor que un motor de diésel de una bomba estacionaria.
- Si bien los costos asociados a arriendo de una torre de distribución es mayor que realizarlo sin uno de estos equipos, se privilegia la velocidad de avance de la obra lo que produce ahorros en otras partidas de la obra.
- Se propone evaluar la implementación de medidas de eficiencia asociados a recambios tecnológicos como lo es el uso de paneles solares o iluminación de ahorro de energía.
- Para el caso de la etapa de construcción, es difícil implementar medidas de eficiencia energética, ya que las decisiones que se toman en una obra están basadas principalmente a los tiempos de avance y a los costos.

7. BIBLIOGRAFÍA.

- SERPELL, A. 2002. *Administración de operaciones de construcción*. 2ª ed. México, Alfaomega.
- Corporación de desarrollo tecnológico y cámara chilena de la construcción (Abril 2013). *Análisis de la productividad en obras de edificación en Chile*, Informe técnico de desarrollo tecnológico.
- Mora Valverde, J. J. (2012), *Medición y Análisis de productividad de tres actividades en la construcción de un centro de distribución de 54000 m2*, Instituto Tecnológico, Costa Rica.
- ZACH Bombas de Hormigón (2015), *Manual de Operaciones Bomba Estacionaria*.
- Álvarez Valdés, J. M. (2013), *Impacto sobre productividad y seguridad en procesos de construcción al usar sistemas avanzados de adquisición y procesamiento de datos-un estudio de casos*, Universidad de Chile, Santiago de Chile.
- Rosenbaum Videla, S. A. (2012), *Aplicación de Mapeo de Cadenas de Valor para la detección de pérdidas productivas y medioambientales en la construcción: Estudio de caso en obra "Clínica Universidad de los Andes"*, Universidad de Chile, Santiago de Chile.
- Villagarcía, S. (2005), *Indicadores de Productividad y Calidad en la construcción de edificaciones*. Universidad Católica del Perú, Perú.
- SERPELL, A. (1986), *Productividad en la construcción*, Revista de ingeniería de construcción, n°1
- Martínez, L., Verbal, R., Serpell, A. (Enero-Junio 1990). *Recomendaciones para aumentar la productividad en la construcción*. Revista de Ingeniería de construcción, n°8

8. ANEXOS.

8.1. Anexo A: Datos recopilados en Terreno

- Datos para vaciado de hormigón.

Tabla 24: Hormigonado de muros con capacho

#	fecha	inicio descarga	fin descarga	m3	método descarga	t descarga	t promedio viaje grúa	m3/min
1	04-04-2017	16:20	17:10	7,5	capacho	0:50	0:03:20	0,150
2	05-04-2017	16:30	17:20	7,5	capacho	0:50	0:03:20	0,150
3	10-04-2017	16:20	17:20	7,5	capacho	1:00	0:04:00	0,125
4	11-04-2017	16:50	17:45	7,5	capacho	0:55	0:03:40	0,136
5	17-04-2017	13:40	14:50	7,5	capacho	1:10	0:04:40	0,107
6	17-04-2017	14:55	15:30	7	capacho	0:35	0:02:30	0,200
7	18-04-2017	17:10	17:53	7,5	capacho	0:43	0:02:52	0,174
8	24-04-2017	14:10	14:55	7,5	capacho	0:45	0:03:00	0,167
9	24-04-2017	16:50	17:45	7	capacho	0:55	0:03:56	0,127
10	25-04-2017	17:00	17:22	4	capacho	0:22	0:02:45	0,182
11	26-04-2017	15:15	16:05	6	capacho	0:50	0:04:10	0,120
12	02-05-2017	12:35	13:30	7,5	capacho	0:55	0:03:40	0,136
13	03-05-2017	10:20	11:10	7,5	capacho	0:50	0:03:20	0,150
14	03-05-2017	14:05	15:00	7,5	capacho	0:55	0:03:40	0,136
15	03-05-2017	15:00	15:40	7,5	capacho	0:40	0:02:40	0,188
16	03-05-2017	16:00	16:40	7,5	capacho	0:40	0:02:40	0,188
17	04-05-2017	15:40	16:45	7,5	capacho	1:05	0:04:20	0,115
18	08-05-2017	14:30	15:42	7,5	capacho	1:12	0:04:48	0,104
19	09-05-2017	9:55	10:44	6	capacho	0:49	0:04:05	0,122
20	09-05-2017	15:15	16:25	7,5	capacho	1:10	0:04:40	0,107
21	10-05-2017	12:45	13:40	7	capacho	0:55	0:03:56	0,127
22	11-05-2017	14:20	15:10	7,5	capacho	0:50	0:03:20	0,150
23	12-05-2017	15:30	16:40	7,5	capacho	1:10	0:04:40	0,107
24	16-05-2017	10:45	12:00	7,5	capacho	1:15	0:05:00	0,100
25	16-05-2017	14:10	15:25	7,5	capacho	1:15	0:05:00	0,100
26	19-05-2017	10:15	11:07	7,5	capacho	0:52	0:03:28	0,144
27	23-05-2017	14:50	15:55	7,5	capacho	1:05	0:04:20	0,115
28	23-05-2017	15:38	16:34	7,5	capacho	0:56	0:03:44	0,134
29	24-05-2017	15:30	16:30	7,5	capacho	1:00	0:04:00	0,125
30	25-05-2017	16:30	17:25	7,5	capacho	0:55	0:03:40	0,136
31	11-07-2017	13:40	14:35	7,5	capacho	0:55	0:03:40	0,136
32	14-08-2017	16:40	17:30	5	capacho	0:50	0:05:00	0,100
33	21-08-2017	14:25	14:55	4,5	capacho	0:30	0:03:20	0,150
							promedio	0,137

							desviación	0,0274
							Máx.	0,200
							min	0,100

Tabla 25: Hormigonado de losa con bomba y tuberías.

#	fecha	inicio descarga	fin descarga	m3	método descarga	t descarga	m3/min
1	07-04-2017	9:45	10:00	7,5	bomba	0:15	0,500
2	12-04-2017	11:45	12:13	7,5	bomba	0:28	0,268
3	12-04-2017	11:10	11:40	7,5	bomba	0:30	0,250
4	18-04-2017	15:15	15:30	7,5	bomba	0:15	0,500
5	27-04-2017	11:10	11:25	7,5	bomba	0:15	0,500
6	27-04-2017	11:40	12:00	7,5	bomba	0:20	0,375
7	27-04-2017	12:10	12:25	7,5	bomba	0:15	0,500
8	27-04-2017	12:47	13:00	7,5	bomba	0:13	0,577
9	27-04-2017	13:05	13:35	7,5	bomba	0:30	0,250
10	27-04-2017	14:15	14:45	7,5	bomba	0:30	0,250
11	27-04-2017	14:50	15:05	7,5	bomba	0:15	0,500
12	27-04-2017	15:20	15:35	7,5	bomba	0:15	0,500
13	27-04-2017	15:40	15:53	5	bomba	0:13	0,385
14	27-04-2017	16:05	16:35	7,5	bomba	0:30	0,250
15	27-04-2017	16:15	16:35	7,5	bomba	0:20	0,375
16	28-04-2017	11:51	12:05	7,5	bomba	0:14	0,536
17	28-04-2017	14:05	14:30	7,5	bomba	0:25	0,300
18	28-04-2017	16:35	17:08	7,5	bomba	0:33	0,227
19	05-05-2017	12:25	12:57	7,5	bomba	0:32	0,234
20	05-05-2017	13:59	14:25	7,5	bomba	0:26	0,288
21	05-05-2017	16:55	17:25	7,5	bomba	0:30	0,250
22	10-05-2017	14:40	14:53	7,5	bomba	0:13	0,577
23	10-05-2017	15:20	15:35	7,5	bomba	0:15	0,500
24	10-05-2017	16:05	16:33	7	bomba	0:28	0,250
25	17-05-2017	12:10	12:25	7,5	bomba	0:15	0,500
26	17-05-2017	12:15	12:40	7,5	bomba	0:25	0,300
27	17-05-2017	13:45	13:58	7,5	bomba	0:13	0,577
29	18-05-2017	11:30	11:55	7,5	bomba	0:25	0,300
30	18-05-2017	12:15	12:40	7,5	bomba	0:25	0,300
31	22-05-2017	10:45	11:10	7,5	bomba	0:25	0,300
32	22-05-2017	11:50	12:20	7,5	bomba	0:30	0,250
33	22-05-2017	15:30	15:55	7,5	bomba	0:25	0,300
34	22-05-2017	16:30	17:01	7,5	bomba	0:31	0,242
						promedio	0,370

Máx.	0,577
min	0,227
desviación	0,124

Tabla 26: hormigonado de muros con TDH.

#	fecha	inicio descarga	fin descarga	m3	método descarga	t descarga	m3/min
1	05-06-2017	11:53	12:20	7,5	bomba	0:27	0,278
2	05-06-2017	12:55	13:18	7	bomba	0:23	0,304
3	05-06-2017	13:35	14:05	7,5	bomba	0:30	0,250
4	07-06-2017	15:05	15:35	7,5	bomba	0:30	0,250
5	07-06-2017	15:40	16:10	7,5	bomba	0:30	0,250
6	07-06-2017	16:35	17:15	7,5	bomba	0:40	0,188
7	07-06-2017	17:25	18:00	7,5	bomba	0:35	0,214
8	08-06-2017	14:55	15:15	7,5	bomba	0:20	0,375
9	08-06-2017	15:45	16:35	7,5	bomba	0:50	0,150
10	08-06-2017	16:50	17:20	7,5	bomba	0:30	0,250
11	09-06-2017	14:45	15:00	7,5	bomba	0:15	0,500
12	09-06-2017	15:40	16:00	6	bomba	0:20	0,300
13	12-06-2017	15:35	16:00	7,5	bomba	0:25	0,300
14	12-06-2017	16:10	16:30	7,5	bomba	0:20	0,375
15	12-06-2017	17:10	17:30	7,5	bomba	0:20	0,375
16	01-08-2017	13:50	14:20	7,5	bomba	0:30	0,250
17	01-08-2017	14:25	14:50	7,5	bomba	0:25	0,300
18	01-08-2017	14:55	15:30	7	bomba	0:35	0,200
19	04-08-2017	15:40	16:00	7,5	bomba	0:20	0,375
20	04-08-2017	16:45	17:10	7,5	bomba	0:25	0,300
21	04-08-2017	10:25	10:40	7,5	bomba	0:15	0,500
22	04-08-2017	11:00	11:20	7,5	bomba	0:20	0,375
23	04-08-2017	11:30	11:50	4	bomba	0:20	0,200
24	08-08-2017	14:10	14:40	7,5	bomba	0:30	0,250
25	08-08-2017	15:00	15:35	7,5	bomba	0:35	0,214
26	08-08-2017	15:50	16:20	7,5	bomba	0:30	0,250
27	11-08-2017	15:42	16:05	7,5	bomba	0:23	0,326
28	11-08-2017	16:20	16:40	7,5	bomba	0:20	0,375
29	11-08-2017	16:45	17:20	7,5	bomba	0:35	0,214
30	12-08-2017	11:20	11:45	7,5	bomba	0:25	0,300
31	16-08-2017	15:15	15:40	7	bomba	0:25	0,280
32	16-08-2017	15:50	16:20	7	bomba	0:30	0,233
33	18-08-2017	14:45	15:05	7,5	bomba	0:20	0,375
34	18-08-2017	15:15	15:40	7,5	bomba	0:25	0,300
35	18-08-2017	16:08	16:30	7,5	bomba	0:22	0,341

36	18-08-2017	16:40	17:30	7,5	bomba	0:50	0,150
						promedio	0,291
						desviación	0,083
						Máx.	0,500
						min	0,150

Tabla 27: Hormigonado de losas con TDH.

#	fecha	inicio descarga	fin descarga	m3	método descarga	t descarga	m3/min
1	05-06-2017	9:45	9:57	7,5	bomba	0:12	0,625
2	05-06-2017	10:20	10:40	7,5	bomba	0:20	0,375
3	05-06-2017	10:45	11:07	7,5	bomba	0:22	0,341
4	05-06-2017	11:15	11:28	7,5	bomba	0:13	0,577
5	06-06-2017	10:40	11:00	7,5	bomba	0:20	0,375
6	06-06-2017	11:30	11:50	7,5	bomba	0:20	0,375
7	06-06-2017	12:07	12:25	7,5	bomba	0:18	0,417
8	06-06-2017	13:25	13:40	5,5	bomba	0:15	0,367
9	05-08-2017	8:40	9:00	7,5	bomba	0:20	0,375
10	05-08-2017	9:50	10:20	7,5	bomba	0:30	0,250
11	05-08-2017	10:25	10:40	7,5	bomba	0:15	0,500
12	05-08-2017	11:00	11:20	7,5	bomba	0:20	0,375
13	05-08-2017	11:30	11:45	4	bomba	0:15	0,267
14	07-08-2017	11:25	11:47	7,5	bomba	0:22	0,341
15	07-08-2017	12:28	12:45	7,5	bomba	0:17	0,441
16	07-08-2017	13:40	14:00	7,5	bomba	0:20	0,375
17	07-08-2017	14:50	15:20	7,5	bomba	0:30	0,250
18	07-08-2017	15:26	15:55	7,5	bomba	0:29	0,259
19	08-08-2017	16:45	17:10	7,5	bomba	0:25	0,300
20	08-08-2017	17:20	17:43	7,5	bomba	0:23	0,326
21	08-08-2017	17:50	18:10	7	bomba	0:20	0,350
22	17-08-2017	14:25	14:40	7,5	bomba	0:15	0,500
23	17-08-2017	15:05	15:25	7,5	bomba	0:20	0,375
24	17-08-2017	16:05	16:30	7,5	bomba	0:25	0,300
25	17-08-2017	17:00	17:30	7,5	bomba	0:30	0,250
						promedio	0,371
						desviación	0,098
						Máx.	0,625
						min	0,250

- Datos para descarachado de muros.

Tabla 28: Datos obtenidos para descarachado de muros con personal contratado por la constructora

Fecha	D	I	MB	C	O	E	A
05-06-2017	16	3	6	5	11	7	6
06-06-2017	21	2	4	4	14	11	5
07-06-2017	27	1	2	3	12	3	27
08-06-2017	24	3	4	4	15	1	1
09-06-2017	24	0	1	3	11	2	8
12-06-2017	26	1	3	4	13	4	11
13-06-2017	14	3	2	3	12	0	8
TOTAL	152	13	22	26	88	28	66

Tabla 29: Datos obtenidos para descarachado de muros con personal subcontratado.

Fecha	D	I	MB	C	O	E	A
17-07-2017	16	2	5	5	9	8	4
18-07-2017	36	4	6	4	12	14	7
19-07-2017	40	2	4	4	12	3	10
20-07-2017	50	1	2	8	18	3	8
21-07-2017	35	4	5	5	23	2	14
TOTAL	177	13	22	26	74	30	43

Oferta Económica, Tiempo Estimado Meses: 12 y 5 meses

SERVICIO	CANT x GT2	VALOR UNIT	GT2 Total	CANT x GT1	VALOR UNITARIO	GT1 Total
Arriendo Torre (233 horas)	12	70	840	5	50	250
Chasis BEX						
Montaje	1	60	60	1	60	60
Desmontaje	1	80	80	1	60	60
Servicio de Telescopaje y Arriostramiento	3	25	75	0	25	0
Confección Insertos, Vigas y Riostras	3	35	105	0	35	0
Mantenciones	11	7	77	4	7	28
Arriendo Tramos Adicionales						
Operador (Turno Legal)	12	45	540	5	45	225
HE Operador (54 horas x mes)	53	0,35	222,6	53	0,4	92,75
Flete GT Ida	2	8	16	2	8	16
Flete Tramos Telescopajes	3	8	24	2	8	16
Flete GT Vuelta	4	8	32			
Flete Tramo Empotramiento	1	6	6			
Tramo de empotramiento AN12	1	60	60	1	60	60
VALOR TOTAL NETO			2137,6			797,8

Cant.	Servicio	Precio Neto
1	Spot Tarifa por servicio con Bomba Pluma o Estacionaria (por m3) entre 28 y 36 mts	UF 0,26
30	Spot Cobro por volumen mínimo por Servicio Spot jornada completa (en m3)	
1	Fija Tarifa por servicio con bomba estacionaria + torre de distribución hidráulica fija en obra	UF 0,3
770	Fija Cobro por volumen mínimo mensual por equipo B. Estacionaria mas T D H	
1	Fija Tarifa por instalación de Torre con cruciforme a nivel de fundaciones	UF 92
1	Fija Tarifa por traslado de equipos, ida-retorno (UF)	UF 50
1	Fija Tarifa por Arriendo de Compresor para limpieza de tubería por equipo (Mensual)	UF 10
1	Fija Tarifa por tubería adicional al KIT (metro lineal equivalente) - Anexo 2 Bomba Estacionaria	UF 0,4
1	Fija Tarifa por sobreestadia u Horas Extras sobre el horario establecido	UF 1
1	Fija Tarifa de Movilización por persona, en salida de Obra después de las 21:00 horas	UF 0,3

Fecha	N° Guía Despacho	Cantidad	Tipo Hormigón	BOMBA
02-may	8540521	7,5	HTB 35(10)20/10 R7	NO
02-may	8540524	7,5	HTB 35(10)20/10 R7	NO
03-may	8594446	7,5	HB 35 (10) 20/10	NO
03-may	8594464	7,5	HB 35 (10) 20/10	NO
03-may	8594475	7,5	HB 35 (10) 20/10	NO
03-may	8594484	7,5	HB 35 (10) 20/10	NO
03-may	8594493	7,5	HB 35 (10) 20/10	NO

Fecha	N° Guía Despacho	Cantidad	Tipo Hormigón	BOMBA
04-may	8595052	7,5	HB 35 (10) 20/10	SI
04-may	8594899	7,5	HB 35 (10) 20/10	NO
04-may	8595067	7,5	HB 35 (10) 20/10	SI
05-may	8595121	7,5	HB 35 (10) 20/10	SI
05-may	8595130	7,5	HB 35 (10) 20/10	SI
05-may	8595136	7,5	HB 35 (10) 20/10	SI
05-may	8595144	7,5	HB 35 (10) 20/10	SI
05-may	8595155	7,5	HB 35 (10) 20/10	SI
05-may	8595165	7,5	HB 35 (10) 20/10	SI
05-may	8595173	7,5	HB 35 (10) 20/10	SI
08-may	8594939	7,5	HB 35 (10) 20/10	NO
08-may	8594945	6	HB 35 (10) 20/10	NO
09-may	8595192	6	HB 35 (10) 20/10	NO
09-may	8595212	7,5	HB 35 (10) 20/10	NO
09-may	8595223	7,5	HB 35 (10) 20/10	NO
10-may	8594982	7	HBT 35(10)20/10 R7	NO
10-may	8595264	7	HBT 35(10)20/10 R7	NO
10-may	8595300	7	HBT 35(10)20/10 R7	NO
10-may	8595279	7,5	HB 35 (10) 20/10	SI
10-may	8595285	7,5	HB 35 (10) 20/10	SI
10-may	8595292	7,5	HB 35 (10) 20/10	SI
10-may	8595305	4	HB 35 (10) 20/10	SI
11-may	8540797	7	HB 35 (10) 20/10	NO
11-may	8540801	7	HB 35 (10) 20/10	NO
12-may	8595370	7,5	HB 35 (10) 20/10	NO
12-may	8595378	7,5	HB 35 (10) 20/10	NO
13-may	8540847	7,5	HB 35 (10) 20/10	NO
13-may	8540849	7,5	HB 35 (10) 20/10	NO
13-may	8540852	7,5	HB 35 (10) 20/10	SI
13-may	8540854	7,5	HB 35 (10) 20/10	SI
13-may	8540858	7,5	HB 35 (10) 20/10	SI
13-may	8603348	7,5	HB 35 (10) 20/10	SI
13-may	8540865	7,5	HB 35 (10) 20/10	SI
13-may	8540866	7,5	HB 35 (10) 20/10	SI
15-may	8540895	4,5	HB 35 (10) 20/10	NO
15-may	8540902	7,5	HB 35 (10) 20/10	NO
16-may	8540913	7,5	HB 35 (10) 20/10	NO
16-may	8540920	7,5	HB 35 (10) 20/10	NO
16-may	8540935	7,5	HB 35 (10) 20/10	NO
16-may	8595490	7,5	HB 35 (10) 20/10	NO
17-may	8595565	7,5	HB 35 (10) 20/10	SI
17-may	8595569	7,5	HB 35 (10) 20/10	SI

Fecha	N° Guía Despacho	Cantidad	Tipo Hormigón	BOMBA
17-may	8595571	7,5	HB 35 (10) 20/10	SI
17-may	8595575	7,5	HB 35 (10) 20/10	SI
17-may	8595579	7,5	HB 35 (10) 20/10	SI
17-may	8595578	7,5	HB 35 (10) 20/10	SI
17-may	8595582	7,5	HB 35 (10) 20/10	SI
17-may	8595587	7,5	HB 35 (10) 20/10	NO
17-may	8540989	7,5	HB 35 (10) 20/10	NO
18-may	8597026	7,5	HBT 35(10)20/10 R7	SI
18-may	8597029	7,5	HBT 35(10)20/10 R7	SI
18-may	8597032	7,5	HBT 35(10)20/10 R7	SI
18-may	8597034	7,5	HBT 35(10)20/10 R7	SI
18-may	8595638	7,5	HBT 35(10)20/10 R7	SI
18-may	8541020	7,5	HB 35 (10) 20/10	NO
18-may	8541022	7,5	HB 35 (10) 20/10	NO
19-may	8541059	7,5	HB 35 (10) 20/10	NO
19-may	8541045	7,5	HB 35 (10) 20/10	NO
19-may	8595670	7,5	HB 35 (10) 20/10	NO
20-may	8541070	7,5	HB 35 (10) 20/10	NO
22-may	8595776	7,5	HB 35 (10) 20/10	SI
22-may	8595780	7,5	HB 35 (10) 20/10	SI
22-may	8595786	7,5	HB 35 (10) 20/10	SI
22-may	8595789	7,5	HB 35 (10) 20/10	SI
22-may	8595794	7,5	HB 35 (10) 20/10	SI
22-may	8595803	7,5	HB 35 (10) 20/10	SI
22-may	8595815	7,5	HB 35 (10) 20/10	SI
22-may	8595821	7,5	HB 35 (10) 20/10	SI
23-may	8595854	7,5	HB 35 (10) 20/10	NO
23-may	8595881	7,5	HB 35 (10) 20/10	NO
23-may	8541142	7,5	HB 35 (10) 20/10	NO
23-may	8541152	7,5	HB 35 (10) 20/10	NO
24-may	8541117	7,5	HB 35 (10) 20/10	NO
24-may	8595956	7,5	HB 35 (10) 20/10	NO
24-may	8541191	7,5	HB 35 (10) 20/10	NO
25-may	8595999	7,5	HB 35 (10) 20/10	NO
25-may	8596008	7,5	HB 35 (10) 20/10	NO
26-may	8596032	6	HB 35 (10) 20/10	NO
26-may	8596048	6	HB 35 (10) 20/10	NO
26-may	8541274	7,5	HB 35 (10) 20/10	NO
26-may	8597087	7,5	HB 35 (10) 20/10	NO
29-may	8596108	7,5	HB 35 (10) 20/10	NO
29-may	8541336	7,5	HB 35 (10) 20/10	NO
30-may	8541349	7,5	HB 35 (10) 20/10	SI

Fecha	N° Guía Despacho	Cantidad	Tipo Hormigón	BOMBA
30-may	8541353	7,5	HB 35 (10) 20/10	SI
30-may	8541356	7,5	HB 35 (10) 20/10	SI
30-may	8596162	7,5	HB 35 (10) 20/10	SI
30-may	8596182	7,5	HB 35 (10) 20/10	SI
30-may	8596186	7,5	HB 35 (10) 20/10	SI
30-may	8596195	7,5	HB 35 (10) 20/10	SI
30-may	8596139	7,5	HB 20154010	NO
30-may	8596147	7,5	HB 20154010	NO
30-may	8596206	7,5	HB 35 (10) 20/10	NO
31-may	8541421	7,5	HB 35 (10) 20/10	NO