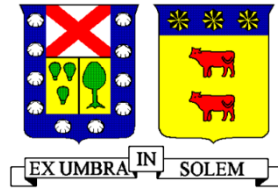


UNIVERSIDAD TECNICA FEDERICO SANTA MARIA  
DEPARTAMENTO DE OBRAS CIVILES  
VALPARAISO - CHILE



*ANÁLISIS COMPARATIVO DE PRODUCTIVIDAD LABORAL DE  
OBRA GRUESA EN TRES OBRAS DE CONSTRUCCIÓN*

JAVIERA FERNANDA PARRA JOHNSON

Memoria para optar al Título de  
Ingeniero Civil

Profesor Guía  
Helmut Arce

Profesor Correferente  
Juan Valenzuela

21 de marzo de 2018

“Material de referencia, su uso no involucra responsabilidad del autor o de la Institución”

## AGRADECIMIENTOS

Agradezco principalmente a toda mi familia que ha estado en todo este proceso desde el principio, a mi papá Raúl a mi mamá Ximena, a mis hermanos Martin, Josefa, Antonia, a mis abuelos Juan y Ximena a mis padrinos Carolina y Enrico, a mis primos Sophia, Franco, Renzo que han sabido darme ánimo y confianza en cada etapa de este largo camino, por confiar en mi más de lo que yo misma he confiado.

A mis tíos Juan Andrés y María Luisa que, junto con mis primos, Juan Ignacio y María José me han hecho sentir como una profesional en las decisiones que he tomado.

Agradezco además a mi pareja, Felipe Sánchez que me ha sabido tolerar, apoyar e incentivar en todo este proceso. Él junto con sus padres Moisés y Ana María se han preocupado de que el proceso sea más ameno.

Quiero agradecer a mi profesor referente Juan Valenzuela, por creer en mis capacidades para llevar a cabo esta investigación y a mi profesor guía Helmut Arce, quien me apoyo en todo el proceso en terreno y fue un guía desde el inicio.

Para finalizar quiero agradecer a todos mis amigos que se han preocupado de estar conmigo en cada programación, en las visitas en terreno, en las correcciones, en las redacciones etc. Quiero destacar la participación y excelente voluntad de Ernesto Araya que desde Paris siempre respondió todas y cada una de mis dudas de la manera más pedagógica que podía. Y Camila Herrera por ser parte de mi apoyo emocional para enfrentar todo este proceso.

## DEDICATORIA

*Este proyecto se lo dedico a todos los que han creído en mí a lo largo de todo mi proceso universitario, el cual no estuvo exento de caídas. Gracias a todos.*

## RESUMEN

En el presente estudio se analiza la problemática que existe al construir la obra gruesa de tres obras distintas ubicadas en diferentes regiones del país, cuáles son las limitantes y factores que en la realidad pueden modificar y alterar de forma positiva o negativa el estudio previo de un proyecto, ya que es una de las etapas más incidentes tanto en la programación como en los costos. Considerando la ubicación como la principal ventaja comparativa de una obra sobre otra.

Para el análisis se estudiarán tres obras, un hotel ubicado en la II región de Antofagasta, una clínica ubicada en la VII región del Maule, y por último un colegio ubicado en la Región metropolitana. Las tres obras mencionadas poseen ciertas características en común y otras particularidades en las cuales difieren, este será el primer punto para el posterior análisis.

Los datos recolectados y resultados obtenidos pretenden mostrar los factores más significativos que al momento de estudiar el proyecto se toman como insignificante frente a otros o que simplemente no se considera el peso que realmente poseen en la ejecución en terreno.

En los siguientes capítulos se verá reflejado cómo la teoría no es siempre lo acertado y como diferentes factores, situaciones, imprevistos y la información previa y detallada de las características externas al lugar, las cuales normalmente no se conocen en su totalidad y pueden afectar de manera importante un presupuesto, plazos y en el estudio de recursos humanos que se requiere para la ejecución de una determinada actividad.

## ABSTRACT

In the present study, the problem is analyzed when constructing the heavy work of three different constructions located in different regions of the country, which are the limitations and factors that in reality can modify and alter in a positive or negative way the previous study of a project since it is one of the most incidents in both programming and costs.

For the analysis three constructions will be studied, a hotel located in the II region of Antofagasta, a clinic located in the VII region of Maule, and finally a school located in the metropolitan region. The three mentioned constructions have certain characteristics in common and other particularities in which they differ, this will be the first point for the subsequent analysis.

The data collected and the results obtained are intended to show the most significant factors that are taken as insignificant when looking at the project, or that simply do not consider the weight they actually have in the field execution.

In the following chapters will be reflected as the theory is not always the right thing and as different factors, situations, unforeseen and previous and detailed information of the external characteristics to the place which normally are not known in their totality and can affect in an important way a budget, deadlines and in the study of human resources that is required for the execution of a certain activity.

## ÍNDICE GENERAL

<b>AGRADECIMIENTOS</b> .....	<b>2</b>
<b>DEDICATORIA</b> .....	<b>3</b>
<b>RESUMEN</b> .....	<b>4</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>5</b>
<b>ÍNDICE DE ILUSTRACIONES</b> .....	<b>8</b>
<b>ÍNDICE DE ILUSTRACIONES</b> .....	<b>8</b>
<b>ÍNDICE DE GRÁFICOS</b> .....	<b>9</b>
<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>11</b>
<b>2 MARCO TEÓRICO</b> .....	<b>12</b>
<b>2.1 PRODUCTIVIDAD</b> .....	<b>12</b>
2.1.1 CONCEPTOS GENERALES .....	12
2.1.2. ENFOQUE DEL CONCEPTO DE PRODUCTIVIDAD .....	14
2.1.3 FACTORES QUE AFECTAN LA PRODUCTIVIDAD EN LA CONSTRUCCIÓN. ....	16
2.1.5. MEDICIÓN DE PRODUCTIVIDAD LABORAL. ....	25
2.1.6. ÍNDICES DE PRODUCTIVIDAD LABORAL .....	27
<b>2.2 ETAPAS GENERALES DE UN PROYECTO</b> .....	<b>28</b>
<b>2.3 PRINCIPIO DE PARETO</b> .....	<b>31</b>
<b>2.4 ELEMENTOS QUE GENERAN VALOR A LA PRODUCCIÓN</b> .....	<b>32</b>
2.4.1 <i>LEAN CONSTRUCTION</i> .....	32
2.4.2 ELEMENTOS PREFABRICADOS .....	34
<b>3 MARCO METODOLÓGICO</b> .....	<b>36</b>
<b>3.1 DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN</b> .....	<b>36</b>
<b>3.2 OBSERVACIÓN</b> .....	<b>37</b>
<b>3.3 HIPÓTESIS</b> .....	<b>37</b>
3.3.1 HIPÓTESIS NULA .....	37
3.3.2 HIPÓTESIS ALTERNA .....	37
<b>3.4 DEFINICIÓN DE LAS VARIABLES</b> .....	<b>38</b>
3.4.1 POBLACIÓN Y MUESTRA .....	38
<b>3.5 PROCEDIMIENTOS</b> .....	<b>39</b>
3.5.1 ETAPA 1: INDAGACIÓN .....	39
3.5.2 ETAPA 2: RECOLECCIÓN .....	39
3.5.3 ETAPA 3: INVESTIGACIÓN .....	42
3.5.4 ETAPA 4: ANÁLISIS DE DATOS .....	42
<b>4 DESCRIPCIÓN DE PROYECTOS</b> .....	<b>47</b>
<b>4.1 DESCRIPCIÓN DE LOS PROYECTOS EN ESTUDIO.</b> .....	<b>47</b>

4.1.1 OBRA “RESIDENCIA – SAN PEDRO DE ATACAMA” .....	47
4.1.2 OBRA “CLÍNICA - TALCA” .....	50
4.1.3 OBRA “COLEGIO - SANTIAGO” .....	53
<b>4.2 CONJETURAS PREVIAS AL ANÁLISIS .....</b>	<b>55</b>
<b><u>5 ANÁLISIS NUMERICO .....</u></b>	<b><u>58</u></b>
<b>5.1 ANÁLISIS EXPLORATORIO DE DATOS.....</b>	<b>58</b>
5.1.1 ENFIERRADURA.....	58
5.1.2 MOLDAJE .....	60
5.1.3 HORMIGÓN .....	61
<b>5.2 ANÁLISIS DE AVANCES.....</b>	<b>63</b>
5.2.1 ENFIERRADURA.....	63
5.2.2 MOLDAJE .....	65
5.2.3 HORMIGÓN .....	67
<b>5.3 ANÁLISIS DE COMPARACIÓN MUESTRAL .....</b>	<b>69</b>
5.3.1 COMPROBACIÓN DE REQUISITOS PARAMÉTRICOS .....	69
5.3.2 ANÁLISIS COMPARATIVO .....	77
<b>5.4 ANÁLISIS COMPARATIVO DE COSTOS.....</b>	<b>86</b>
5.4.1 COSTOS BASE .....	86
5.4.2 COSTOS EXTRAS .....	89
<b>5.5 ANÁLISIS COMPLEMENTARIOS: TERMINACIONES.....</b>	<b>90</b>
5.3.1 MONTAJE DE TABIQUE V/S CONSTRUCCIÓN IN “IN-SITU” .....	90
<b><u>6 CONCLUSIONES.....</u></b>	<b><u>94</u></b>
<b><u>BIBLIOGRAFIA.....</u></b>	<b><u>98</u></b>
<b>ANEXO A: PLANILLAS DE RENDIMIENTO.....</b>	<b>101</b>
ANEXO A.1: OBRA ALMA.....	101
ANEXO A.2: OBRA CLINICA LIRCAY .....	106
ANEXO A.3: OBRA COLEGIO SANKT THOMAS MORUS.....	109
<b>ANEXO B: TABLAS ÍNDICES ESTADÍSTICOS.....</b>	<b>112</b>
ANEXO B.1: SHAPIRO WILKS.....	112
ANEXO B.2: TABLA DISTRIBUCIÓN CHI-CUADRADO (KRUSKAL-WALLIS).....	113
<b>ANEXO C: RESULTADOS ANÁLISIS .....</b>	<b>114</b>
ANEXO C.1: CONDICIONES PARAMÉTRICAS.....	114
ANEXO C.2: ANÁLISIS COMPARATIVO.....	117

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1: Diagrama representativo de Eficacia y efectividad.....	15
Ilustración 2: Enfoque tradicional v/s Enfoque Lean.....	32
Ilustración 3: Diagrama de caja con valores atípicos leves y graves.....	43
Ilustración 4: Hotel Residencia ALMA- San Pedro de Atacama. ....	47
Ilustración 5: Ubicación Proyecto ALMA.....	48
Ilustración 6: Dimensiones Tabique T07. Posición según planta. ....	50
Ilustración 7: Plano Planta obra Clínica - Talca. ....	51
Ilustración 8: Ubicación mapa Obra Colegio Sank Thomas Morus. ....	54

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Definición cronológica de Productividad.....	13
Tabla 2: Encuesta factores de productividad Obra “Residencia ALMA”. ....	56
Tabla 3: Resumen Enfierradura.....	58
Tabla 4: Resumen Estadístico Moldaje.....	60
Tabla 5: Resumen Estadístico Hormigón. ....	61
Tabla 6: Prueba de Normalidad de cada muestra.....	76
Tabla 7: Resultados test de homocedasticidad.....	77
Tabla 8: Guía de decisión de prueba. ....	78
Tabla 9: Resultados análisis Dunn, Actividad Enfierradura. ....	79
Tabla 10: Rendimientos Reales v/s Teórico CDT para Enfierradura.....	81
Tabla 11: Resultados análisis Dunn. Actividad Moldaje. ....	82
Tabla 12: Rendimientos reales v/s teóricos CDT para moldaje. ....	83
Tabla 13: Resultados análisis de Dunn. Actividad Hormigonado.....	84
Tabla 14: Rendimientos reales v/s teóricos CDT para hormigonado. ....	85
Tabla 15: Índices de costos por actividad y obra. ....	87
Tabla 16: Costos efectivos por kilogramo instalado. Actividad de enfierradura. ....	88
Tabla 17: Costos efectivos por metro cuadrado instalado. Actividad de Moldaje. ....	88
Tabla 18: Costos efectivos por metro cúbico instalado. Actividad de hormigonado. ....	89
Tabla 19: Costos finales después de extras. ....	90

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Metodología de vaciado hormigón. Fuente: “Productividad en obras de edificación en Chile”- CDT. Abril 2013. ....	19
Gráfico 2: Rendimiento de vaciado de hormigón. Fuente: elaboración propia, basado en los datos obtenidos de “Productividad en obras de edificación en Chile”- CDT. Abril 2013. ....	20
Gráfico 3: Análisis por dependencia laboral. Fuente: “Productividad en obras de edificación en Chile”- CDT. Abril 2013. ....	21
Gráfico 4: Análisis por asignación de tareas. Enfierradura Fuente: “Productividad en obras de edificación en Chile”- CDT. Abril 2013. ....	22
Gráfico 5: Rendimiento de tipología de moldaje. Fuente: “Productividad en obras de edificación en Chile”- CDT. Abril 2013. ....	23
Gráfico 6: Niveles de actividad sectorial 2004-2012. Fuente: “Productividad en obras de edificación en Chile”- CDT. Abril 2013. ....	24
Gráfico 7: Causas de pérdidas de tiempo en edificación en altura. ....	25
Gráfico 8: Naturaleza de tiempos que no agregan valor. ....	25
Gráfico 9: Periodos de duración de fases. ....	31
Gráfico 10: Rendimientos Obras, Actividad Enfierradura. ....	59
Gráfico 11: Box Plot Rendimientos Actividad de enfierradura. ....	59
Gráfico 12: Rendimientos Obra. Actividad Moldaje. ....	60
Gráfico 13: Box Plot Rendimiento Actividad de Moldaje. ....	61
Gráfico 14: Rendimiento Obras, Actividad Hormigón. ....	62
Gráfico 15: Box Plot: Rendimiento actividad de Hormigonado. ....	62
Gráfico 16: Avance Teórico Vs Real. Obra “Residencia – San Pedro de Atacama”. Actividad Enfierradura. ....	63
Gráfico 17: Avance teórico v/s Real. “Clínica – Talca”. Actividad Enfierradura. ....	64
Gráfico 18: Avance teórico v/s Real. “Colegio – Santiago”. Actividad Enfierradura. .	64
Gráfico 19: Avance teórico v/s Real. Obra “Residencia – San Pedro de Atacama”. Actividad Moldaje. ....	65
Gráfico 20: Avance teórico v/s Real. Obra “Clínica – Talca”. Actividad Moldaje. ....	66
Gráfico 21: Avance teórico v/s Real. Obra “Colegio – Santiago”. Actividad Moldaje. .	66
Gráfico 22: Avance teórico v/s real. Obra “Residencia – San Pedro de Atacama”. Actividad de hormigonado. ....	67
Gráfico 23: Avance Teórico v/s Real. Obra “Clínica – Talca”. Actividad de Hormigonado. ....	67
Gráfico 24: Avance teórico v/s real. Obra “Colegio – Santiago”. Actividad de hormigonado. ....	68
Gráfico 25: Q-Q Plot e Histograma Obra “Residencia – San Pedro de Atacama”. Actividad Enfierradura. ....	70
Gráfico 26: Q-Q Plot e Histograma. Obra “Clínica – Talca”. Actividad Enfierradura. .	71
Gráfico 27: Q-Q Plot e Histograma. Obra “Colegio – Santiago”. Actividad enfierradura. ....	72

Gráfico 28: Q-Q Plot e Histograma. Obra “Residencia – San Pedro de Atacama”. Actividad moldaje. ....	72
Gráfico 29: Q-Q Plot e Histograma. Obra “Clínica – Talca”. Actividad de Moldaje....	73
Gráfico 30: Q-Q Plot e Histograma. Obra “Colegio – Santiago”. Actividad Moldaje.	74
Gráfico 31: Q-Q Plot e Histograma. Obra “Residencia – San Pedro de Atacama”. Actividad Hormigonado.....	74
Gráfico 32: Q-Q Plot e Histograma. Obra “Clínica – Talca”. Actividad de hormigonado. ....	75
Gráfico 33: Q-Q Plot e Histograma. Obra “Colegio – Santiago”. Actividad Hormigonado. ....	76
Gráfico 34: Rendimiento montaje tabique en obra Residencia – San Pedro de Atacama.....	91
Gráfico 35: Rendimiento tabique in situ en obra Residencia – San Pedro de Atacama. .....	91
Gráfico 36: Avance teorico v/s real Montaje tabique.Obra “Residencia – San Pedro de Atacama” .....	92
Gráfico 37: Avance teórico v/s real Tabique in-situ. “Residencia – San Pedro de Atacama” .....	93

## INTRODUCCIÓN

Toda obra de construcción posee una etapa de estudios previos y un análisis del escenario donde se ejecutará. El escenario en estudio posee diversos factores y estos deben ser considerados y evaluados previo a la ejecución. Este estudio es conocido como estudio de presupuesto y evaluación de proyecto, donde se estima la mano de obra que se necesitará, las condiciones de logística para el ingreso de los diferentes materiales, salidas de residuos y las instalaciones de faenas que requieren cada proyecto. Sin embargo, estos estudios previos se basan en proyecciones y estimaciones por lo que no se tiene ninguna certeza de que ocurran según lo planeado, debido a una gran cantidad de factores que a lo largo del avance de la obra pueden ir transformando y alterando los resultados obtenidos en los estudios previos.

Dentro del estudio de proyecto o propuesta se deben analizar diversos parámetros, siendo algunos más influyentes que otros en cuanto a costos o duración del programa.

La mano de obra es uno de los ítems que presenta mayor variabilidad solamente por concepto de producción y estimación de los costos reales durante el proceso previo de estudio del proyecto. El no saber evaluar y predecir de manera cercana los reales costos de manos de obra o productividad de la misma puede llevar un proyecto al fracaso. Por estas razones es de vital importancia manejar y poseer todas las herramientas necesarias para predecir de la mejor manera el comportamiento productivo de la actividad a evaluar.

El presente estudio pretende mostrar los posibles factores que pueden influir positiva o negativamente en la productividad de las actividades principales de obra gruesa comparando tres proyectos ejecutados por la misma empresa, con la finalidad de cuantificar con datos reales cómo afectan estos factores la productividad en las diferentes obras en estudio, y qué consideraciones se debe tener a la hora de construir en una zona con características determinada. Considerando que la principal ventaja comparativa entre estas obras será su propia ubicación. Sin embargo, se analizarán otros factores preponderantes según la actividad estudiada.

Para poder realizar este estudio se pretende utilizar datos de productividad unitaria en las tres actividades principales de obra gruesa, enfierradura, moldaje y hormigonado, de las tres obras evaluadas. Esta información se someterá a un análisis comparativo para poder determinar las diferencias significativas que puedan existir entre realizar una misma actividad en diferentes obras, bajo condiciones diferentes. Rescatando cuál de esas condiciones pudiera ser la más relevante en los resultados obtenidos, y como esta información se traduce a la importancia de realizar un estudio preliminar bien ejecutado considerando todas sus variables.

## 2 MARCO TEÓRICO

### 2.1 PRODUCTIVIDAD

#### 2.1.1 Conceptos Generales

Según la revista BIT (2001), en su artículo *“Índice de productividad en la construcción”: Mito o realidad*, se desprende que productividad viene dada por la relación entre la producción obtenida por un sistema de producción y los recursos utilizados para obtenerla.

De acuerdo con lo anterior, productividad se define como la relación entre producción final y factores productivos utilizados en la producción de bienes y servicios. De un modo más global, la productividad denota lo que genera el trabajo, la producción de cada trabajador, la producción por cada hora trabajada o cualquier otro tipo de indicador de la producción en función del trabajo. Una mayor productividad significa hacer más con la misma cantidad de recursos o hacer lo mismo con menos capital y trabajo<sup>1</sup>.

De manera complementaria Niebel<sup>2</sup> (2001) expone que el mejoramiento de la productividad se refiere al incremento de la producción por hora-trabajo o por tiempo gastado. Como base fundamental para el mejoramiento de la productividad se encuentran los recursos humanos, puesto que estos son el capital más importante de toda la empresa *“Algunos mencionan el capital como el recurso esencial para el desarrollo industrial y otros mencionan la tecnología como el factor que incrementa la misma. Si bien estos recursos son importantes, el capital puede ser desperdiciado por las personas y la tecnología no sirve de nada sin personas que se comprometan y aprendan a utilizarla bien”* (Miyai, centro de productividad de Japón).

Siguiendo con lo anterior, es de fácil conclusión suponer que cada autor posee una definición propia del concepto de productividad. A continuación, se expone una tabla resumen de autores destacados en la materia que señalan diferentes definiciones de lo que entienden por productividad:

---

<sup>1</sup> Eric Allmon et al., “U. S. Construction Labor Productivity Trends, 1970-1998” Journal of Construction.

<sup>2</sup> B. Niebel, Ingeniería Industrial: Métodos, estándares y diseño del trabajo. Alfaomega, Mexico, 2001.

Autor (Año)	Definición
<b>Quesnay (1766)</b>	La palabra productividad aparece por primera vez
<b>Littré (1883)</b>	Facultad de producir
<b>Early (1905)</b>	Relación entre producción y los medios empleadas para lograrla
<b>OCEE (1950)</b>	Cociente que se obtiene al dividir la producción por uno de los factores de producción
<b>Davis (1955)</b>	Cambio en el producto por los productos gastados
<b>Fabricant (1962)</b>	Siempre una razón entre la producción y los insumos
<b>Kendrick y Creamer (1965)</b>	Definiciones funcionales para la productividad parcial, de factor total y total
<b>Siegel (1976)</b>	Una familia de razones entre la producción y el insumo
<b>Sumanth (1979)</b>	Productividad total – Razón de producción tangible entre insumos tangibles

Tabla 1: Definición cronológica de Productividad

Referencia: Tabla basada en la tesis "Productividad y desarrollo económico" de Marco Villegas y Oscar Alberto, 1995, Universidad de Sonora.

De las definiciones anteriores se puede desprender una idea común: generar un servicio o producto con menos recursos. Esta idea se puede unir con los conceptos de eficiencia, eficacia y efectividad, estos términos son más utilizados que el de productividad al evaluar el desempeño de un sistema por lo que es necesario definirlos antes de continuar con este texto. Las siguientes definiciones son basadas en la obra de Peter Drucker, ya que en su obra "trabajo del conocimiento" establece diferencias fundamentales entre las tres palabras:

Eficiencia es *hacer bien las cosas*, es decir, hacer las cosas buscando la mejor relación posible entre los recursos empleados y los resultados obtenidos. La eficiencia tiene que ver con *cómo* se hacen las cosas

Eficacia es *hacer las cosas correctas*, es decir, hacer las cosas que mejor conducen a la consecución de los resultados. La eficacia tiene que ver con *qué* cosas se hacen

Efectividad es *hacer bien las cosas correctas*, es decir, hacer las cosas de forma eficiente y eficaz. La efectividad tiene que ver con *qué* cosas se hacen y *como* se hacen las cosas.<sup>3</sup>

En definitiva, la productividad es una medida de lo bien que se han combinado y utilizado los recursos específicos para lograr los resultados esperados, por lo que se puede determinar de la siguiente forma:

Ecuación 1: Definición productividad.

$$Productividad = \frac{Producción}{insumos} = \frac{Resultados obtenidos}{Recursos empleados}$$

De manera más reciente se ha llevado a cabo una búsqueda del concepto más apropiado para definir productividad, lo cual ha llevado a crear varios tipos de productividad. Según David J. Sumanth en su libro "ingeniería y administración de la productividad" de 1990, presenta las terminologías más utilizadas y conocidas de productividad:

<sup>3</sup> José Miguel Bolívar, efectividad centrada en las personas [En línea] < <http://www.optimainfinito.com/2015/09/diferencias-entre-eficiencia-eficacia-y-efectividad.html> > [fecha consulta 20 septiembre 2017].

- **Productividad Parcial:** Es la razón entre la cantidad producida y un solo tipo de insumo
- **Productividad de factor total:** Es la relación entre la cantidad neta producida, y la suma asociada de los factores de insumo “mano de obra y capital”. Se entiende por producción neta, la producción total menos bienes y servicios intermedios comprados.
- **Productividad total:** Es la razón entre la producción total y la suma de todos los factores de insumo.

Nota: En las definiciones anteriores, tanto la producción como los insumos se expresan en términos reales o físicos convirtiéndolos a pesos constantes de un periodo de referencia, (periodo base)<sup>4</sup>

### 2.1.2. Enfoque del concepto de productividad

En cuanto a la definición del concepto de productividad, existen también diversas maneras de pensar y corrientes acerca del mismo.

La productividad se puede dividir en bajo tres enfoques secuenciales<sup>5</sup>:

- Enfoque de volumen:** Es el que considera los factores directos que intervienen en el logro del producto, relacionándolos de la siguiente forma: producción por hora-hombre, el cual indica la eficiencia de la mano de obra. Otra relación utilizada en este enfoque es la de producción dentro de los materiales o energías utilizadas, donde describe el rendimiento de la utilización de recursos.
- Enfoque de costos:** Es aquel que analiza las relaciones de productividad ya mencionadas, desde el punto de vista de los costos que incurren para alcanzarlos.
- Enfoque de rentabilidad:** Este enfoque analiza la productividad desde el punto de vista de la rentabilidad del negocio, que es, en último término, donde se reflejan a nivel global los cambios en la productividad.

El enfoque principal que se llevará a cabo en este estudio, es medir la productividad en términos del volumen físico de producción por horas-hombre, ya que lo que se busca es medir la productividad de la mano de obra para lograr la comparación deseada.

#### 2.1.2.1. Productividad laboral o de mano de obra

El principal participante en un proyecto de construcción o en cualquiera que se desarrolle una actividad del tipo constructivo es el trabajador. Entiéndase lo anterior como la persona que labora directamente en la producción de las obras, es decir, jornales, carpinteros, albañiles, concreteros, pintores, etc. (Castiblanco,2004).

---

<sup>4</sup> Moreno Villegas, Oscar Alberto. “Productividad y desarrollo económico”. Tesis (División de Ingeniería). Universidad de Sonora, 1995, capítulo 1. Página 4.

<sup>5</sup> Enrique Gutiérrez López. “Concepto de productividad y su medición”. Tesis (escuela de ciencias Químicas). Universidad de Sonora, 1987, capítulo 1. Página 5.

El concepto de productividad dirigido a laboral es la relación entre la producción y la mano de obra ocupada para llevar a cabo el producto (o servicio), y refleja que tan bien se está utilizando dicha mano de obra en el proceso productivo. Además, esta relación permite estudiar las posibles variaciones en el desarrollo del trabajo, en la proyección de requerimientos futuros de mano de obra, evaluar el comportamiento de los costos laborales, comparar entre diversos actores los avances de productividad etc. (Martínez, 1995).

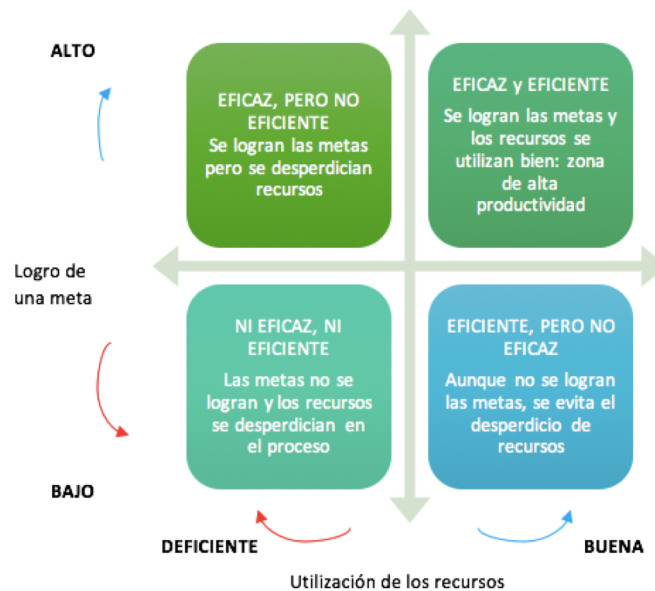
Aplicado a la mano de obra, la productividad es representada por la siguiente fórmula:

*Ecuación 2: Productividad de Mano de Obra.*

$$Productividad\ M.O = \frac{Avances\ de\ Obra}{Horas\ Hombre}$$

Entonces, la productividad laboral o de mano de obra es la medición que determina lo producido (avances de obra) por unidad de tiempo, generalmente expresado en horas-hombre [HH] u hombre-día [HD].

De lo anterior y de los conceptos expuestos en el capítulo de conceptos generales se puede obtener la siguiente relación:



*Ilustración 1: Diagrama representativo de Eficacia y efectividad.*

*Referencia: Elaboración propia. Basado en la página web de marketing digital. <http://drakko.com.mx/eficiencia-o-eficacia/>*

El objetivo de cualquier proceso es lograr una productividad alta, lo que se consigue mediante la obtención de alta eficiencia y eficacia (Botero & Alvarez, 2004). Para lograr este objetivo es importante conocer las principales premisas que apuntan al mejoramiento de la productividad, los cuáles serán profundizados más adelante.

### 2.1.3 Factores que afectan la productividad en la construcción.

Según un estudio llamado “Productividad laboral en Chile ¿Cómo estamos?”<sup>6</sup>, efectuado por Rodrigo Alcoholado, se describe una comparación de productividad operacional de la construcción habitacional entre Chile y Estados Unidos, medida en m<sup>2</sup>/HH. Se observa que la productividad en Chile (2011) es un 48% de la que posee en promedio EEUU (2000-2007). Siendo las principales causas globales las mostradas a continuación<sup>7</sup>:

- Bajo uso de materiales prefabricados
- Baja adopción de métodos avanzados de gestión
- Fragmentación de etapas crítica como diseño y construcción.
- Falta de capacitación a trabajadores
- Deficiente rol de supervisión
- Costo capital con respecto a mano de obra
- Estructuras antisísmicas.

Si bien se ha expuesto los principales factores que generan una productividad deficiente en Chile a modo comparativo, es importante también ordenar aquellos que son más incidentes en construcciones propias del país.

Para exponer estos factores se utilizará el informe técnico “Análisis de la productividad en obras de edificación en Chile” de la Corporación de desarrollo tecnológico de la cámara chilena de la construcción<sup>8</sup>. Este documento reúne datos recopilados por el área de asesorías CDT, ha recopilado más de 300 mediciones a diversos proyectos con más de 850 mil horas-hombre y horas-maquinas durante 10 años de medición (2003-2013).

En las próximas líneas se entregará información correspondiente a datos y resultados obtenidos del informe técnico de la Corporación de desarrollo tecnológico.

Para introducir y comprender los resultados del informe es necesario conocer las tres categorías de factores considerados en el informe:

- DISEÑO: Se relaciona al estándar y formato de estructura de la edificación.
- TECNOLOGÍA: Se refiere a equipos y apoyos industrializados utilizados para la buena ejecución de las actividades.
- METODOLOGÍA DE TRABAJO: Se refiere a la planificación dada a las actividades, como esquema de desarrollo de las tareas, programación de mano de obra, entre otras.

---

<sup>6</sup> Rodrigo Alcoholado. “Productividad laboral en Chile ¿Cómo estamos?” [En línea]. <[https://irade.cl/wp-content/uploads/2013/12/Rodrigo\\_Alcoholado.pdf](https://irade.cl/wp-content/uploads/2013/12/Rodrigo_Alcoholado.pdf)>. [Fecha consulta: 20 de septiembre 2017].

<sup>7</sup> Fuente: BEA; INE: Informe edificación; Encuesta empleo; BLS: CES; McKinsey; Análisis equipo de trabajo.

<sup>8</sup> BIT. Santiago, Chile (92). Abril 2013.

Tal como se mencionó anteriormente se pueden considerar tres grandes grupos de factores:

a) FACTORES DE DISEÑO

- **Grado de Simetría:** este factor se relaciona principalmente con la actividad de moldaje ya que a mayor simetría se generan mejores desempeños al ver de manera global un proyecto.
- **Nivel de complejidad de elementos:** claramente cuando los trabajadores se enfrentan a elementos muy complejos se genera una necesidad de aprendizaje, se tiene una baja modularización y esto genera consecuencias en la metodología de trabajo derivando en una baja productividad.
- **Cantidad de muros:** a mayor cantidad de muros por planta existe un menor desempeño en términos de avance por piso, por la misma razón se considera la cantidad de muro por metros cuadrados como un indicador del estándar del producto.
- **Unidades por piso:** al realizar mayor cantidad de unidades por piso se produce un aprovechamiento del espacio común y en conjunto con la simetría del proyecto puede darse con mayor facilidad un mejor desempeño en aquellos casos.
- **Estándar de calidad del producto:** el estándar de calidad viene asociado a niveles altos de detalles, lo que produce un menor desempeño en labores propias de terminaciones y en moldaje en obra gruesa, ya que normalmente se realizan muros de mayores dimensiones.

b) TECNOLOGÍA

- **Cantidad de grúas:** este factor es bastante incidente en la labor de moldaje, ya que la cantidad de grúas en conjunto al sistema de hormigonado son los que determinan el rendimiento de esta actividad. Dos grúas son las necesarias para lograr los niveles óptimos de rendimiento para la actividad de moldaje.
- **Bombas de hormigón:** el sistema de bombeo tiene directa relación con el rendimiento en la colocación de hormigón, este factor es vulnerado con la disponibilidad que posea el sistema escogido.
- **Tipo de Moldaje:** De los tres tipos de moldajes mayormente utilizados el denominado industrializado pesado es el que presenta mejores desempeños.
- **Tipología de enfierradura:**
  - i. C&D+i: corresponde a confección y doblado en fábrica e instalación realizada por parte de la empresa que confecciona la enfierradura. Se considera como óptimo rendimiento debido al nivel de especialización y el buen aprovechamiento de la modalidad de ejecución en planta.
  - ii. C&D+i: corresponde a la fabricación y doblado en planta y la instalación es realizada por otra cuadrilla. El rendimiento de este factor se ve afectado directamente por la experiencia y conocimiento del instalador.
  - iii. c+d+i: corresponde al corte, doblado e instalación en terreno, todo por la misma entidad. Esta tipología de la actividad de enfierradura

posee más frentes a controlar lo que hace que pudiera ser más complejo llevar a cabo un buen rendimiento.

c) METODOLOGÍA DE TRABAJO

- **Fases definidas:** corresponde a tener una clara definición de la planta a ejecutar, este factor tiene que ver con una buena planificación y a su vez se traduce en una buena productividad en los trabajos asociados.
- **Cuadrillas especializadas:** este factor genera un aumento en el rendimiento de las partidas asociadas ya que se entiende que las cuadrillas más especializadas poseen mayor nivel de desempeño.
- **Subcontratos de obra gruesa:** La idea de subcontratar mano de obra tiene relación directa con la especialización de los trabajadores, sin embargo, no siempre se tiene el desempeño planeado debido al nivel de especialización que requiere cada actividad, sobre todo si la partida se encuentra en la línea crítica del proyecto.
- **Rango de mano de obra:** este factor tiene que ver con la cantidad de trabajadores asignados a una labor y si estos son suficiente para realizarla.
- **Movilidad de trabajadores:** el acto de aprendizaje e inversión en los trabajadores se asocia a mejores rendimientos del personal y mayor permanencia en la empresa.
- **Meta de avance:** las metas de avance son incidentes tanto en la en la metodología de trabajo como en el desempeño de cada actividad, esto es por que las metas muy ambiciosas pueden generar una meta inalcanzable y bajar las expectativas de lograrla, y viceversa.

Es importante destacar que todos los factores mencionados tienen incidencia en el desempeño global de una obra de construcción, sin embargo, es difícil poder detectar cual de ellos es el más decisivo en el grado de éxito del proyecto. Puesto que son tantos factores a evaluar, no es posible escoger de manera categórica la importancia de cada uno de ellos pero si es posible señalar de manera general lo siguiente:

- **ENFIERRADURA:** el factor más incidente en esta partida es su tipología, que tipo de sistema se usará en la obra. Se puede además mejorar el rendimiento con una buena planificación a costa de mayores costos de mano de obra.
- **MOLDAJE:** El factor más incidente en esta partida sería el diseño y de la disponibilidad de los recursos necesarios para la ejecución de la misma. Una vez más una buena planificación es importante para mejorar los rendimientos.
- **HORMIGÓN:** cabe destacar que esta partida no siempre se considera como proceso crítico ya que muchas veces se realiza fuera de la jornada laboral. Sin embargo, el uso de los recursos requeridos para llevarla a cabo es importante en la planificación.

De acuerdo a todo lo expuesto anteriormente, es importante destacar que el rendimiento global del proyecto viene dado por la relevancia asociada a cada partida de obra gruesa, por lo tanto, es importante fijar la atención en la inversión de nuevas tecnologías para lograr mejores rendimientos y así poseer mejores índices de competencia en el mercado. Otro punto a destacar es la metodología de planificación ya que de esta manera la empresa asegura un buen aprovechamiento de los recursos y por consecuencia un buen desempeño.

Tal como se ha podido apreciar, las partidas que sugieren una mayor incidencia en la productividad final de un proyecto son las propias de obra gruesa, por esta razón se profundizará en las tres actividades principales de esta etapa; moldaje, enfierradura y hormigonado. Y por la misma razón es que este estudio analiza las mismas partidas.

A continuación, se expone un análisis de productividad de las tres partidas en estudio, considerando las características propias de la actividad, obtenido del “Análisis de la productividad en obras de edificación en Chile” de la Corporación de desarrollo tecnológico de la cámara chilena de la construcción.

### 2.1.3.1. HORMIGONADO

Esta partida es una de las actividades que marcan el avance físico de toda la obra, por lo tanto, es primordial brindarle la importancia en asegurar su rendimiento y planificación. Tal como se ha expuesto anteriormente el método de vaciado y llenado es incidente en la determinación de los rendimientos de la actividad. A continuación, se exponen los sistemas utilizados en la actualidad:

- Capacho (C)
- Manga (como adición al capacho o a la bomba para materializar muros)
- Bomba estacionaria (BE)
- Bomba Telescópica Fija (BT)
- Camión con bomba telescópica (CT)

A continuación se expone el gráfico 1 para observar la distribución del uso de grúas en diferentes metodologías de vaciado. Esta gráfica se obtuvo de un estudio realizado a 65 proyectos<sup>9</sup> donde se utilizó grúa, capacho para muros, y bombas estacionarias para losas.

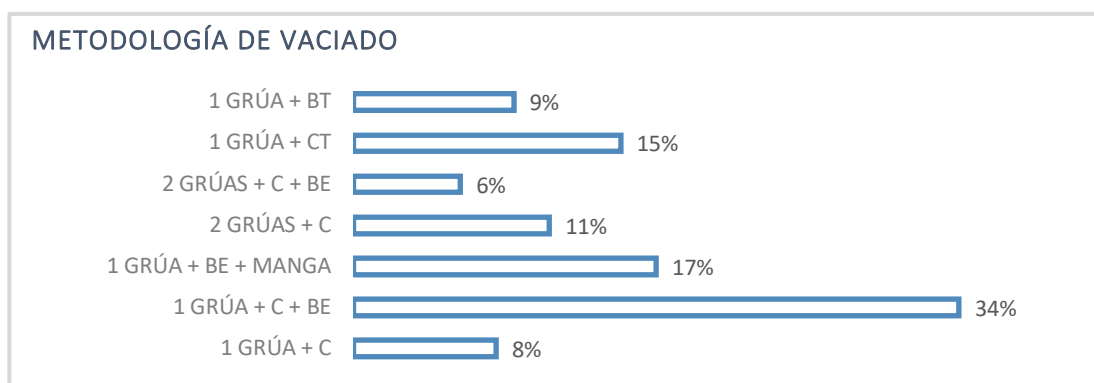


Gráfico 1: Metodología de vaciado hormigón. Fuente: “Productividad en obras de edificación en Chile”- CDT. Abril 2013.

<sup>9</sup> : Metodología de vaciado hormigón. Fuente: “Productividad en obras de edificación en Chile”- CDT. Abril 2013.

Por la intención de este estudio, es relevante determinar el sistema de vaciado que otorga un mayor rendimiento a la actividad de hormigonado para poder utilizar este dato en los resultados posteriormente obtenidos. En el gráfico 2 (barras verdes) es posible apreciar que la metodología más eficiente es la que utiliza bomba telescópica para cualquiera de los elementos estudiados. La combinación que se tiene con la cantidad de grúas va asociada como recurso de apoyo a otras actividades. Sin embargo, se puede ver además, que la diferencia de rendimiento entre un sistema y otro no es muy significativo, por lo que se estima que la metodología escogida no sería el factor más relevante para tener un buen rendimiento global.

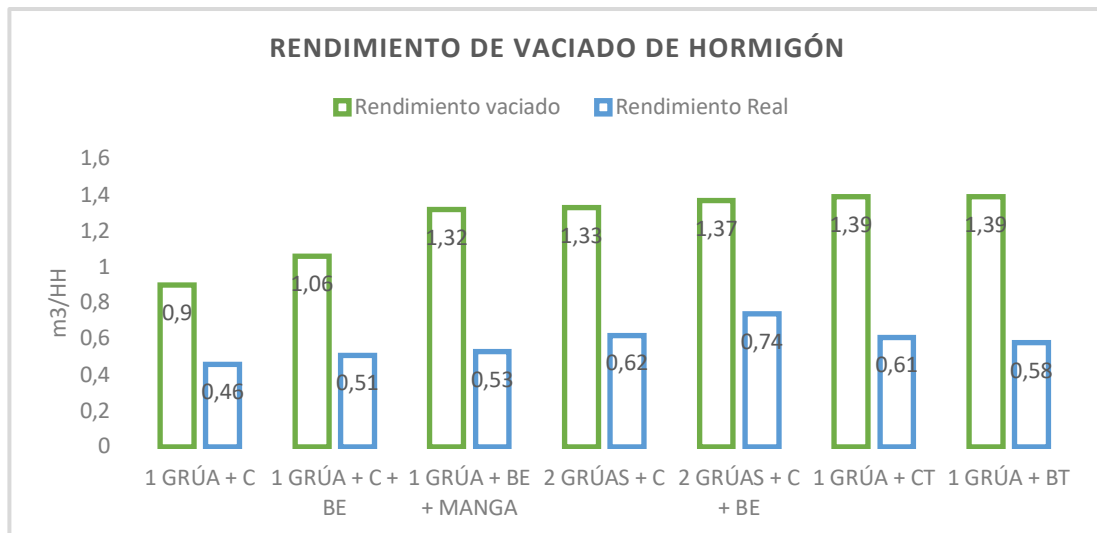


Gráfico 2: Rendimiento de vaciado de hormigón. Fuente: elaboración propia, basado en los datos obtenidos de "Productividad en obras de edificación en Chile"- CDT. Abril 2013.

Otra forma de ver la importancia de escoger una buena metodología es la de analizar el rendimiento real de la partida de hormigonado, la cual se desprende al evaluar toda la jornada laboral de los concreteros, independientemente de la labor que se encuentren ejecutando. Nuevamente en el gráfico 2 (barras celestes) es posible observar que el mayor rendimiento se encuentra asociado al uso de dos grúas, esto se debe a que el recurso grúa es versátil y otorga un avance continuo en las actividades de obra gruesa, tanto en hormigonado como en moldaje. Esto provoca que el uso de grúa libere mano de obra para ser utilizada en la actividad de hormigonado mientras se trabaja de manera simultánea en la colocación de moldaje para abrir cancha a posteriores labores.

### 2.1.3.2. ENFIERRADURA

#### i. Análisis por dependencia laboral

Según los datos presentados en el informe de Productividad en obras de edificación en Chile se establece que actualmente existe una preferencia de las empresas por escoger a contratistas externos para ejecutar la colocación de enfierradura, tal como se puede apreciar en el gráfico 3:

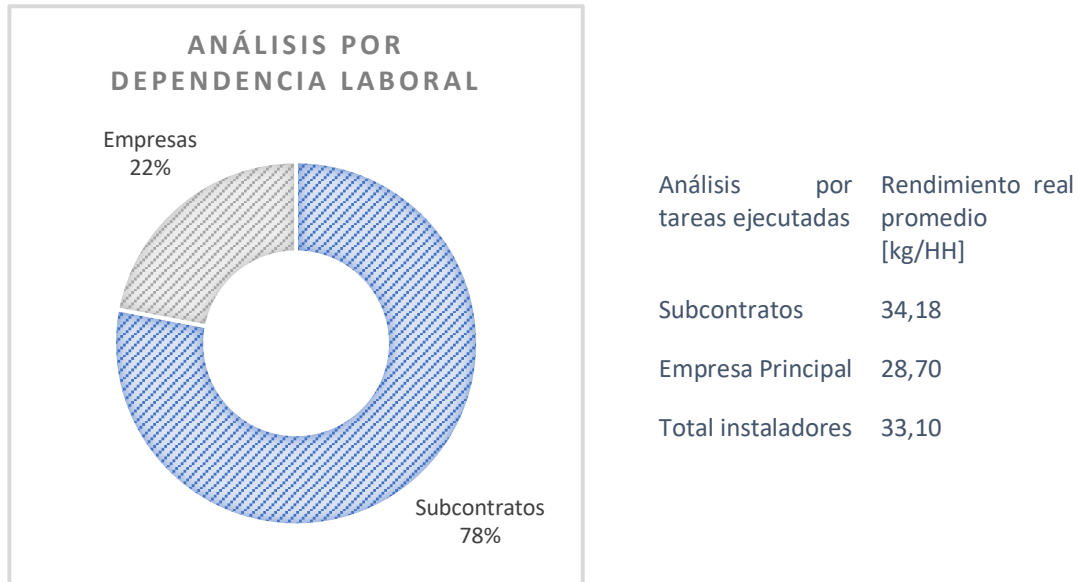


Gráfico 3: Análisis por dependencia laboral. Fuente: "Productividad en obras de edificación en Chile"- CDT. Abril 2013.

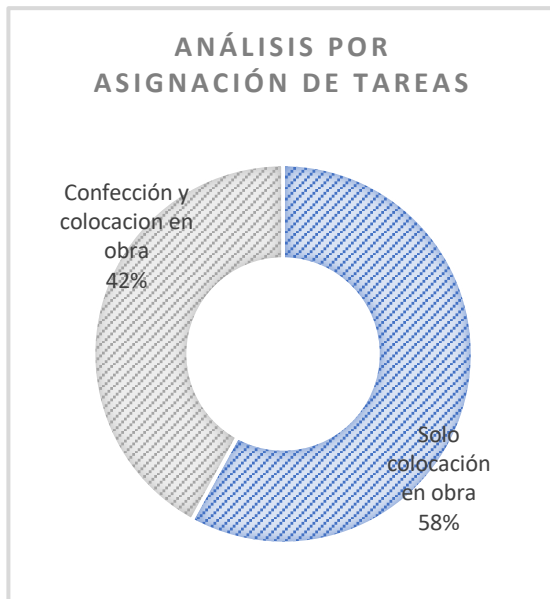
Al observar el gráfico se puede deslumbrar que efectivamente la tendencia actual de las empresas al escoger instaladores externos es acertada, en cuanto a la mejora de rendimientos en esta actividad.

#### ii. Análisis por asignación de tareas

Es posible distribuir en dos grupos el tipo de contrato a efectuar por los instaladores:

- Corte y doblado interno + instalación (c+d+i)
- Sólo instalación en obra; corte y doblado externo (C&D + i)

Según los datos arrojados por el estudio realizado por la CDT se aprecia que existe una preferencia al contratar talleres externos para que realicen la actividad de confección, y la mayor parte de ellos también los escoge para proceder a la instalación.



Análisis por tareas ejecutadas	Rendimiento real promedio [kg/HH]
Confección y Colocación en obra	31,59
Sólo colocación en obra	34,70
Total instaladores	33,10

Gráfico 4: Análisis por asignación de tareas. Enfierradura Fuente: "Productividad en obras de edificación en Chile"- CDT. Abril 2013.

Observando el gráfico 4 se puede determinar que efectivamente al delegar las tareas de enfierradura a talleres externos se genera un aumento en el rendimiento de la actividad.

### 2.1.3.3. MOLDAJE

Al igual que el hormigonado, y por que van de la mano, el moldaje es una de las actividades que marca el ritmo de obra gruesa.

Se distinguen dos tipos de moldaje, los cuales son implementados para desarrollar elementos verticales (muros y columnas) y elementos horizontales (losas y vigas):

- Industrializado: Modularizados.
- Tradicional: Materializados in situ a la medida y en base a madera.

Se pueden distinguir tres tipos diferentes de moldajes industrializados, según el peso de éstos, la necesidad de utilizar algún recurso de apoyo, entre otras:

- **Manual:** Son elementos de menores dimensiones que pueden ser transportados e instalados manualmente.
- **Semitransportable:** Son elementos de dimensiones pequeñas y medianas que poseen un peso variable, y dependiendo de eso se determina la necesidad de equipos auxiliares de apoyo para levantarlos e instalarlos.
- **Pesados:** Son elementos de mayores dimensiones y deben ser instalados con equipos de apoyo, como grúas.

Es importante destacar que todas las tipologías mencionadas poseen elementos de apoyo que permiten instalar el moldaje, por lo que es común utilizar de todas maneras equipos auxiliares cuando se pretende instalar el moldaje final como un solo elemento.

En el gráfico 5 se observan los rendimientos de las diferentes tipologías mencionadas, señalando además el tipo de elemento considerado. Se identifica que el rendimiento de los moldajes industrializados son significativamente mayores que los tradicionales, específicamente los elementos de mayor envergadura los que arrojan mayores valores.

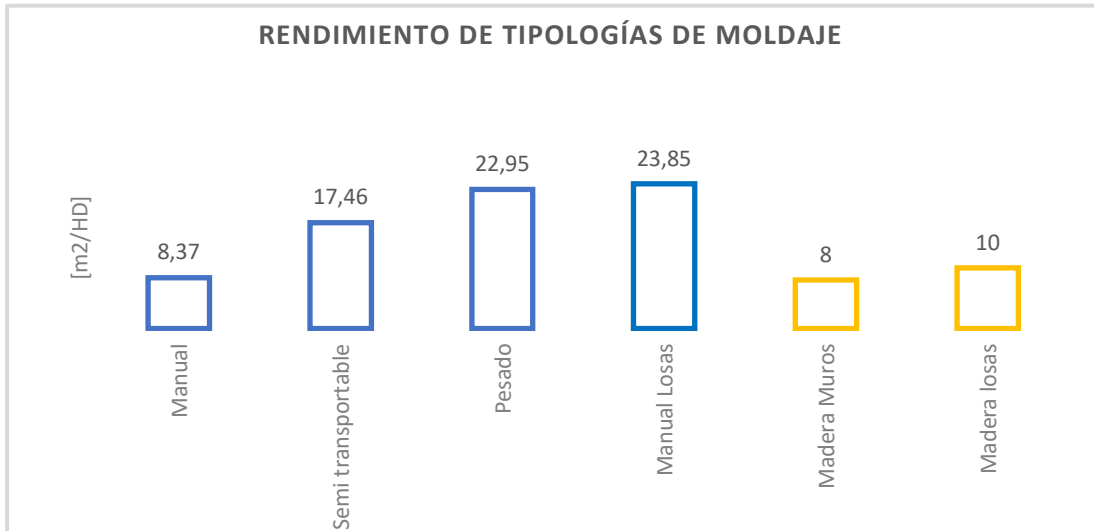


Gráfico 5: Rendimiento de tipología de moldaje. Fuente: “Productividad en obras de edificación en Chile”- CDT. Abril 2013.

Es importante reiterar que el rendimiento de la actividad de moldaje viene directamente relacionado con la planificación y buena coordinación entre las diferentes actividades de obra gruesa, ya que muchas veces se requiere utilizar el mismo recurso de apoyo para realizarlas.

#### 2.1.3.4. Principales causas de pérdida de tiempo en edificación en altura

Según los datos arrojados por el estudio de la CDT “Productividad en obras de edificación en Chile” se establece que los niveles de actividad en la edificación en altura versus otros sectores son mejores, tanto en obra gruesa como en terminaciones.

Este estudio busca determinar los factores críticos a controlar para poseer una buena productividad laboral, basándose en las actividades de obra gruesa, por lo tanto, es importante el concepto de “aprovechamiento del tiempo” el cual habla de invertir el tiempo de mano de obra en actividades que agregan valor a los proyectos. Para comprender este concepto se exponen las principales categorías utilizadas en mediciones de productividad, postuladas por Oglesby, Parker, Howell (1989):

- Trabajo productivo (agrega valor): aquel que aporta en forma directa a una unidad de producción. Por ejemplo: vibrar el hormigón, colocar moldaje, pintar etc.

- Trabajo contributivo (no agrega valor): aquel que debe realizarse para que pueda ejecutarse el trabajo productivo. Por ejemplo: transporte de material, recepción/entrega de instrucciones, lectura de planos, mediciones, etc.
- Trabajo no contributivo (no agrega valor): cualquier actividad que no corresponda a las categorías anteriores. Por ejemplo: ocio, esperas, interrupciones no autorizadas, traslado de un lugar a otro, actividades personales, etc.

A continuación, se expone de manera gráfica el nivel de las categorías según sector de construcción;

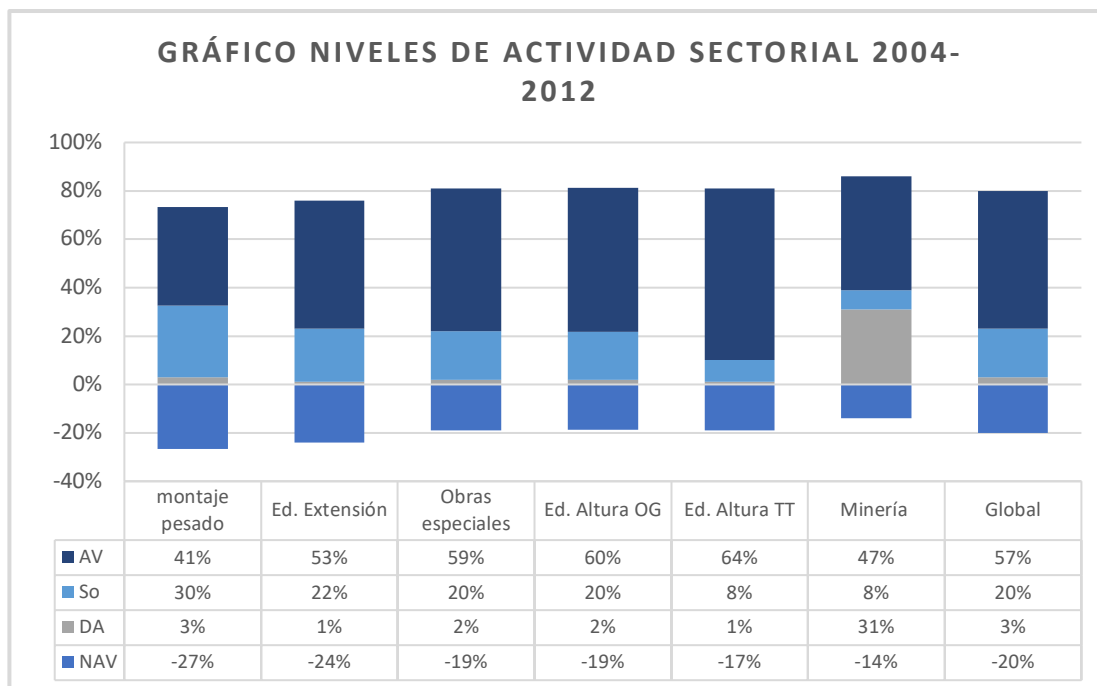


Gráfico 6: Niveles de actividad sectorial 2004-2012. Fuente: "Productividad en obras de edificación en Chile"- CDT. Abril 2013.

Donde:

AV: actividades que agregan valor

So: actividades de soporte

DA: detenciones autorizadas

NAV: Actividades que no agregan valor

La distribución de las causas de tiempo perdido en categorías indica lo siguiente:

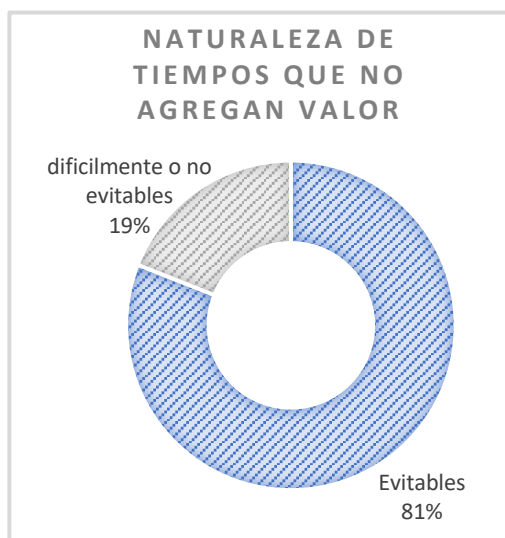


Gráfico 8: Naturaleza de tiempos que no agregan valor.

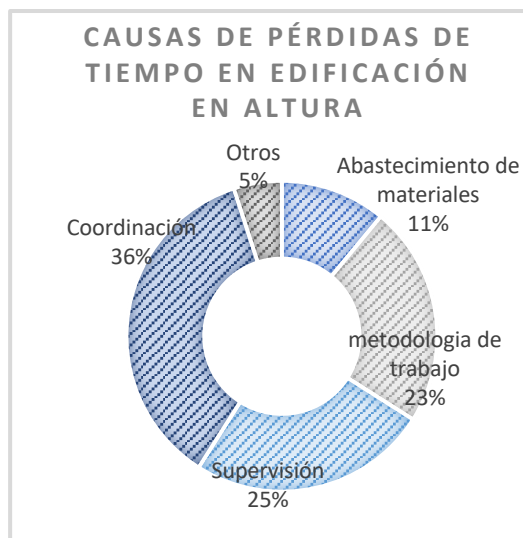


Gráfico 7: Causas de pérdidas de tiempo en edificación en altura.

Fuente: "Productividad en obras de edificación en Chile"- CDT. Abril 2013.

En el gráfico 7 se puede observar que la coordinación interna es uno de los factores que genera mayor pérdida de tiempo, esto se relaciona a trabajos rehechos, falta de cancha, problemas en la asignación de tareas, entre otras.

Otro de los factores que arroja mayores valores de pérdida de tiempo es la supervisión, ya que los descansos y detenciones de los trabajadores generan pérdidas de tiempo en el trabajo.

Como último factor destacable se encuentra la metodología de trabajo, la cual está asociada a una buena planificación de las tareas, para no producir trabajos ineficientes que puedan generar pérdidas de trabajo e interferir en el desempeño global.

Entre las principales conclusiones del informe, se puede destacar que más del 80% de las pérdidas de tiempo son evitables. Esto quiere decir que pueden ser gestionadas y controladas por los profesionales de obra actuando sobre los factores antes mencionados, generando un margen de mejora significativo de la productividad.

#### 2.1.5. Medición de productividad laboral.

En el mercado actual de la construcción, permanecer competitivo es cuestión de supervivencia. Para permanecer operativos se requiere que las empresas aseguren que sus operaciones sean eficientes y productivas. Una forma de lograrlo es monitorear la productividad y minimizar los tiempos perdidos.

Los métodos más comunes de medición de productividad implican mecanismos de seguimiento a la mano de obra. Para un control eficaz en un proyecto de construcción, es

indispensable medir el trabajo, ningún control e implementación de mejoras puede llevarse a cabo sin una medición adecuada.

Los métodos de medición de productividad en la construcción son descritos y clasificados en cuatro categorías por W. Schwartzkopf en su libro "Calculating Lost Labor Productivity in construction claims" (2004) de la siguiente manera:

1. **Método directo:** dentro de este método existen dos formas de proceder, con el porcentaje de trabajo terminado o con la cantidad física de trabajo terminado, la diferencia entre ambos radica en la forma de estimar el trabajo terminado, por cantidad de terminados o simplemente por porcentaje de avance.
2. **Método de muestra de trabajo:** este método es una técnica para determinar lo que los trabajadores están haciendo en cualquier punto de la jornada, el porcentaje de observaciones que corresponden a trabajos realizados actúa como el porcentaje del tiempo en el que se es productivo. Dentro de este método se categoriza el trabajo en tres grupos, los cuales se han definido anteriormente; Trabajo directo o productivo, trabajo de apoyo o contributivo y por último el trabajo no contributivo.
3. **Método de Cuestionario:** este método es realizado con un formulario estándar, utilizado principalmente para medir temas como retrasos, escasez de materiales o herramientas, capacidad de gestión, factores de desmotivación o ausentismo entre otros.
4. **Método del valor ganado (EVM):** este método se utiliza comúnmente para la medición del desempeño, alcance de proyecto, costos etc. Este método ayuda al contratista a evaluar y medir el desempeño y el avance del proyecto, para eso utiliza tres valores básicos:
  - a. **Valor planeado:** es el costo presupuestado del trabajo planificado para una actividad o del total del proyecto en un determinado momento.
  - b. **Valor ganado:** es el costo presupuestado del trabajo realmente ejecutado para una actividad o del total del proyecto en un determinado momento.
  - c. **Costo Real:** es el costo del trabajo ejecutado, para una actividad o del total del proyecto en un momento determinado.

En el presente trabajo se utilizará el método directo para medir avances reales dentro de las tres actividades a evaluar, y el método del cuestionario para identificar y respaldar los factores que afectan las actividades medidas.

### 2.1.6. Índices de productividad laboral

Los indicadores se pueden definir como porcentaje, razón o equivalencia que evalúa e informa sobre el comportamiento de una variable en un período de tiempo determinado, además muestran los logros, cumplimientos de metas u objetivos de un determinado proceso, es decir, es un medidor del progreso de la productividad. Otra labor importante de los índices es que exponen a los administradores la variación de productividad, por lo tanto, es utilizado como herramienta para el mejoramiento de ésta, y así tomar mejores decisiones en el proyecto. Para que estos índices puedan ser tomados como una herramienta útil y agregar valor al proyecto, los objetos de medición deben ser cuantificables y comparables, entre los más comunes, están<sup>10</sup>:

- i. **Índice de costo:** Los indicadores de este grupo miden las actividades que consumen recursos económicos en los diferentes procesos.
- ii. **Índice de tiempo:** Los indicadores de este grupo miden el tiempo que se consume en una actividad o un proceso, considerando los tiempos desde el inicio hasta el fin del proceso o actividad seleccionado.
- iii. **Índice de calidad:** Miden la efectividad en la elaboración de las actividades o los procesos, entregando resultados referentes al número de errores cometidos, número de entregas perfectas y sin errores.
- iv. **Índices de productividad:** Los indicadores de este grupo miden la eficiencia en el uso de los recursos en las operaciones o procesos.

El índice que se utilizará en este estudio será el índice de productividad o factor de productividad (PF), el cual se realiza comparando la productividad real con la productividad planeada, expresado por la siguiente fórmula<sup>11</sup>:

*Ecuación 3: Índice de Productividad.*

$$PF = \frac{\text{Productividad M.O Planeada}}{\text{Productividad M.O Real}}$$

Productividad M.O Real: es la productividad medida durante un período.

Productividad M.O. Planeada: es la productividad planificada para el período.

La principal importancia de utilizar índices de productividad es poder establecer tendencias productivas de mano de obra a través del tiempo, por lo cual se pueden crear metas realistas y puntos de control para llevar un control y diagnóstico del proceso de construcción.

---

<sup>10</sup> Riveros, C.F (2005). Indicadores de gestión en proyectos de construcción. Bogotá, Colombia: Universidad de los Andes.

<sup>11</sup> Association for the advancement of cost Engineering. (2004). Estimating lost labor productivity in construction claims. Morgantown, EEUU. AACE International Recommended practices.

La interpretación de PF es la siguiente:

- Si  $PF = 1$ , entonces quiere decir que la productividad planeada es igual a la productividad real.
- Si  $PF < 1$ , entonces quiere decir que la productividad real fue mayor que la planeada
- Si  $PF > 1$ , quiere decir que la productividad planeada fue mayor a la real.

Por lo tanto, lo óptimo es obtener un valor lo más cercano a 1 posible.

## 2.2 ETAPAS GENERALES DE UN PROYECTO

En todo proyecto de construcción se pueden identificar dos hitos importantes, los cuales se pueden definir de manera general como, (1) todos los estudios previos de una idea inicial y (2) la materialización de dicha idea. Dentro de cada hito es primordial dividir todas las tareas en fases bien definidas que permitirán cumplir de forma ordenada las funciones que contengan cada una de ellas generando un buen proceso a lo largo de toda la vida del proyecto.

- **Fase de iniciación:** Definición de los objetivos del proyecto y de los recursos necesarios para su ejecución. Según las características de cada proyecto es de primordial necesidad una etapa previa destinada a la preparación del mismo, fase que tiene una importante trascendencia para la buena marcha del proyecto, y por lo tanto, se debe tener un especial cuidado. Una gran parte del éxito o el fracaso del mismo erradica principalmente en estas fases preparatorias junto con una buena etapa de planificación, donde muchas veces los planificadores caen en querer ver resultados excesivamente pronto, y esta acción es contraproducente, tal como se pretende exponer a lo largo de este estudio.
- **Fase de planificación:** Se trata de establecer cómo el equipo de trabajo deberá satisfacer las restricciones de prestaciones, planificación temporal y costos. Una planificación detallada da consistencia al proyecto y evita sorpresas que nunca son bien recibidas, como por ejemplo los costos por tiempos extra, no considerados en la planificación inicial.

En esta fase se pueden definir dos etapas, las cuales se diferencian según su información, vigencia durante el proyecto, alcance y grado de detalle.

- a) **Planificación preliminar:** Corresponde a la primera etapa de la planificación, en esta etapa no existe toda la información necesaria para lograr llegar a una metodología óptima de mano de obra, maquinaria o actividades. Por la misma razón en algunos casos esta etapa de planificación no es muy útil por lo que se utiliza para determinar los puntos críticos que guiarán la etapa posterior. Esta etapa finaliza cuando se define la organización interna del equipo que ejecutará dicho proyecto.
- b) **Planificación Global:** Esta etapa comienza posterior a la planificación preliminar, en ella se recopila la información necesaria para formar con mayor detalle la

planificación del proyecto. El nivel de detalles se relaciona con el tamaño definitivo del proyecto, con la cantidad de mano de obra, la cantidad de materiales a utilizar entre otras variables.

Una vez clara la información anterior se procede a realizar la planificación general de las partidas y de la obra (carta Gantt) y donde se generan los documentos de gestión, control y administración (protocolos, curvas S, etc). Estos documentos son importantes para lograr un buen control de productividad en las partidas de la obra, de esta manera las mediciones finales serán reales y reflejarán lo ejecutado en terreno.

Como se corroborará mas adelante es importante que la planificación se realice de manera cauta y lo mas precisa posible, dando espacio a modificaciones o cambios en la planificación.

- **Fase de ejecución:** Representa el conjunto de tareas y actividades que suponen la realización propiamente dicha del proyecto, la ejecución de la obra de que se trate. Responde, ante todo, a las características técnicas específicas de cada tipo de proyecto y supone poner en juego y gestionar los recursos en la forma adecuada para desarrollar la obra en cuestión. Cada tipo de proyecto responde en este punto a su tecnología propia, que es generalmente bien conocida por los técnicos de la materia. A pesar que la planificación más importante ya se realizó, en esta etapa se debe continuar planificando cada proceso en específico con el fin de tener un control más profundo y una mejor claridad de cómo ejecutar las diferentes actividades y en qué tiempo ejecutarlas.
- **Fase de Control:** Monitorización del trabajo realizado analizando cómo el progreso difiere de lo planificado e iniciando las acciones correctivas que sean necesarias. Por lo que, controlar un proyecto es parte fundamental del trabajo, ya que es la única forma de lograr que se cumplan los objetivos planteados y resolver qué decisiones tomar a lo largo de la ejecución de una obra de construcción.

Existen tres principales focos de control:

- a) **Control de Calidad:** Corresponde a verificar que la calidad de la ejecución sea concordante a las especificaciones técnicas y al diseño de la proyección de la obra.  
La calidad de un proyecto debe quedar definida antes de la ejecución de éste, debe presentarse de manera clara para que no existan errores al momento de ejecutar el proyecto.
- b) **Control de avance:** este control comprende la medición real de los avances para luego compararlos con los avances planeados y determinar qué acciones tomar en caso de atrasos importantes o críticos. Para realizar un correcto control de avances deben existir elementos de ayuda para realizar esta labor. Los más utilizados son los siguientes:
  - Descripción del método elegido para ejecutar un trabajo
  - Cantidad de obra (cubicaciones)

- Recursos destinados al trabajo (hh y maquinaria)
  - Interferencias y limitaciones
  - Programas comprometidos (cartas gantt, diagramas, etc).
- c) Control de presupuesto: Corresponde al análisis de gasto mensual del proyecto, el cual se compara con el presupuesto oficial estipulado en la fase de planificación. Este control es sumamente relevante en un proyecto puesto que indica cuánto recurso monetario, a favor o en contra, va teniendo el proyecto mensualmente, y va directamente relacionado con el avance físico de la obra, ya que, si se posee un avance deficiente con un presupuesto a favor, se puede invertir en más recursos, como maquinaria o mano de obra, para recuperar la brecha entre el avance real y el esperado.

Del mismo modo que el control de avances, el de presupuesto también cuenta con elementos relacionados que ayudan a tener un mejor orden:

- Costos unitarios
- Cantidades de obra
- Cargo por costo directo y gastos generales
- Monto para imprevistos
- Flujo de desembolsos

- **Fase de entrega o puesta en marcha:** Como ya se ha dicho, todo proyecto está destinado a finalizarse en un plazo predeterminado, culminando en la entrega de la obra al cliente o la puesta en marcha del sistema desarrollado, comprobando que funciona adecuadamente y responde a las especificaciones en su momento aprobadas. Esta fase es también muy importante no solo por representar la culminación de la operación, sino por las dificultades que suele presentar en la práctica, alargándose excesivamente y provocando retrasos y costos imprevistos.

A continuación, se muestran las duraciones generales de cada fase:

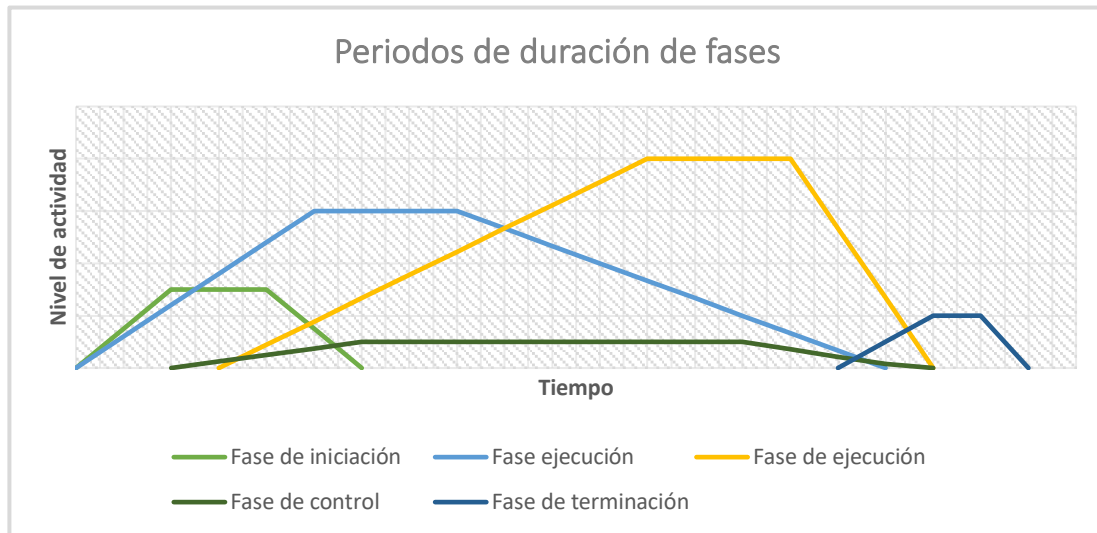


Gráfico 9: Periodos de duración de fases.

Fuente: "Etapas de un proyecto". <[http://www.spw.cl/proyectos/apuntes2/cap\\_3.htm](http://www.spw.cl/proyectos/apuntes2/cap_3.htm)>

## 2.3 PRINCIPIO DE PARETO

Wilfredo Pareto fue un sociólogo y economista de origen italiano del siglo XX que describió una regla de proporciones que se ha visto resurgir en la actualidad debido a la relación que tiene con eventos reales en diversas disciplinas.

Pareto describió su principio basándose en el denominado "conocimiento empírico". Observó que la gente que compone la sociedad se dividía naturalmente entre los pocos de mucho y los muchos de poco, generando dos grupos de proporciones, aproximadas de 80:20 tales que el grupo formado por el 20% de población, poseía el 80% de algo, mientras que el grupo conformado por el 80% de la población, el 20% de algo.

Al aplicar este concepto al ámbito de la construcción se observa una relación similar en relación a los costos de un proyecto, es decir, las partidas que representan un 20% del total de partidas equivalen al 80% de los costos del proyecto y el 80% de partidas restantes, equivale al 20% de los costos totales.

De esta manera este principio define ese 20% de elementos o actividades como algo fundamental y el 80% restante como algo trivial.

En este caso de estudio se considera como el grupo minoritario a las actividades de obra gruesa, y el grupo mayoritario las actividades correspondientes a terminaciones. Si bien se sabe que también existen etapas previas como excavaciones o movimientos de tierra que son considerables en el presupuesto total del proyecto, en este estudio se considerarán las dos etapas mencionadas puesto que son las existentes en los tres proyectos en cuestión.

## 2.4 ELEMENTOS QUE GENERAN VALOR A LA PRODUCCIÓN

Para toda empresa de construcción es primordial obtener cada vez mejores resultados a menores costos, por esto es que se encuentran en un permanente reto de aumentar la productividad, a través de la optimización de los recursos y la interacción de los mismos. Este reto también exige a las empresas de construcción la implementación de nuevas tecnologías de información y herramientas digitales, como estrategia efectiva para el aumento de la productividad.

Si bien son muchas las herramientas que se utilizan hoy en día para contribuir al aumento de productividad, a continuación, se explicarán solo aquellas que se observaron dentro de la empresa estudiada.

### 2.4.1 Lean construction

*Lean construction* es una filosofía que se fundamenta en dar prioridad a las actividades que agregan valor al producto sobre las que no, buscando eliminar pérdidas por medio de la reducción de inventarios, disminución de tiempos de ciclos automatización de procesos, cooperación con proveedores, cambio de enfoque de producción, entre sus principios fundamentales.

Para entender mejor las diferencias de este concepto con el enfoque tradicional, se presenta una ilustración explicativa.

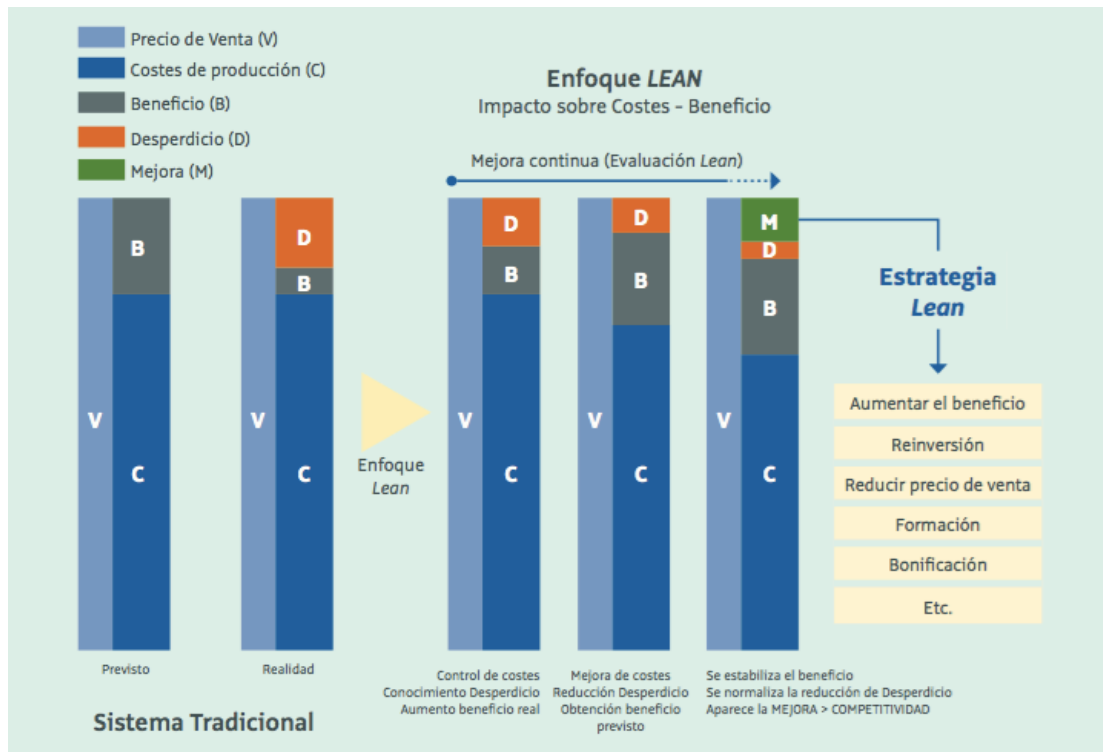


Ilustración 2: Enfoque tradicional v/s Enfoque Lean.

Fuente: Introducción al Lean construction. Juan Felipe Pons Achell. Marzo 2014.

a) Enfoque tradicional

En el enfoque tradicional se calculan los costos según la experiencia de cada empresa constructora tomando en cuenta un pre-diseño, luego se suman los gastos generales y los costos indirectos. La suma total nos entrega un costo estimado de producción, al cual se le añade un beneficio. La suma del costo de producción (C) más el beneficio (B) nos da un precio de venta al público.

Cuando se aplica este principio de costos y se produce un aumento inesperado de costos de producción pueden plantearse dos escenarios: (1) si se decide aumentar el precio de venta, se está traspasando la responsabilidad al cliente de los costos improvisados de la empresa (D) que nacen en la fase de ejecución. (2) si se mantiene el precio, entonces se reduce el margen de beneficio y se podría generar una inestabilidad en el negocio.

b) Enfoque según *Lean Construction*

En el enfoque Lean, primero se calcula el precio de venta al público en función de las características que aportan valor al cliente hoy, definidas por éste y ajustadas al precio que puede o está dispuesto a pagar según las condiciones actuales. Luego de esto, el equipo de estudio de proyecto calcula el costo de construir tal obra según las especificaciones definidas por el cliente, pero esta vez, asumiendo desde el comienzo, que un porcentaje de las actividades son improductivas y no agregan valor al cliente tal y como él lo percibe.

Una vez expuesto lo anterior se puede comprender de mejor manera la ilustración 1, donde se puede resumir en las siguientes frases:

- Existe conocimiento pleno de que una parte de las actividades serán improductivas y no aportarán valor desde la perspectiva del cliente. A partir de ahí, se llevará a cabo un control de costos *Lean* puesto que ahora se dispone del conocimiento y herramientas de gestión para comenzar a identificar, calcular y controlar el desperdicio. Se mejora el beneficio real y se disminuye el desperdicio actual mediante la mejora de diseño y de proceso de ejecución, de manera que nos permita reducir el costo de producción sin disminuir calidad y las prestaciones de la edificación.
- Se continúa con la mejora continua y el control de costos mejorando el diseño y los procesos. Se reduce aún más el desperdicio y se alcanza el beneficio esperado.
- Se estabiliza el margen de beneficio. Se transforma el desperdicio y costos de producción en mejora real sobre el costo inicial previsto. Se sigue realizando ciclos de mejora continua, diseñando nuevos estándares a medida que se superan los anteriores.

Siguiendo una estrategia Lean, se puede invertir la mejora obtenida en la última fase en beneficio, inversión, innovación, formación, reducción del precio de venta, bonificación para las partes interesadas, o una combinación de las anteriores.

## 2.4.2 Elementos prefabricados

Los elementos prefabricados o modularizados son aquellos previamente fabricados y ensamblados en una planta o fábrica para su posterior instalación o montaje en la obra. Esta técnica aparece para responder a exigencias de construcción rápida, barata y numerosas debido a la explosión demográfica.

Esta técnica, que ha tenido un enorme desarrollo a nivel mundial, presenta claras ventajas, sobre todo cuando se requiere utilizar elementos repetitivos e industrializar las faenas de construcción y mejorar su productividad. Las principales ventajas son las que siguen a continuación:

- **Calidad de los materiales:** El empleo de las maquinarias de producción permite una buena calidad probada y constante de los materiales que son determinados, dosificados y controlados. Dichos procedimientos dan como resultados materiales de mayor resistencia ajustando los métodos constructivos.
- **Reducción de los plazos de ejecución:** Esta tecnología permite disminuir los plazos de ejecución ya que agiliza el ritmo de la obra por la producción de elementos en serie, eliminando los tiempos en blanco entre las distintas actividades.
- **Reducción de equipos de obra:** No existe la necesidad de encofrados, moldajes y sistemas de andamios.
- **Mano de obra especializada:** Tanto el moldaje como el montaje son trabajos específicos que requieren personal previamente capacitado.
- **Economía:** Este tipo de construcciones permiten mejorar los tiempos de obra con una reducción de gastos fijos; control eficiente de relación horas/hombre.
- **Reciclable:** Las construcciones prefabricadas podrían ser totalmente desmontadas y llevadas a otro emplazamiento elegido.
- **Estética:** Por lo que respecta a la estética, el resultado final no permitiría diferenciar las construcciones prefabricadas que las realizadas in situ.

Como todo nuevo sistema de construcción este también posee algunos inconvenientes a la hora de utilizarlos, los cuales se detallan a continuación.

- **Manipulación y transporte:** El acopio, manipulación y forma de transporte puede afectar a las piezas si estas operaciones no son efectuadas por personal capacitado.
- **Aspecto económico-financiero:** Estos elementos requieren de una inversión inicial muy importante para poner en marcha el sistema de producción.
- **Sobre el montaje:** Según el elemento a montar debe disponerse de equipos pesados para el montaje estructural y tener espacios suficientes para maniobrar con la maquinaria.

- **Sobre la fabricación:** Debido a que este sistema debe enfrentarse a problemas a resolver durante los tiempos de fabricación y montaje, esto requiere de la ingeniería de proyecto de todas las instalaciones previas al comienzo de la obra.

Una de las obras de este estudio trabajó con sistema de prefabricados, la obra ALMA. Esta utilizó 120 baños prefabricados, 11 tipos de tabiques prefabricados, entre otros. Los recién mencionados serán los de mayor influencia a lo largo de esta memoria.

## 3 MARCO METODOLÓGICO

### 3.1 Diseño de la investigación

Para ejecutar este estudio se decide realizar una investigación de campo, la cual se refiere al tipo de investigación que estudia una problemática a partir de la recolección y análisis de datos directos de la realidad, donde se realizaran criterios estadísticos para el procesamiento de la información recolectada.

Para organizar los pasos de esta investigación se establece utilizar el método científico, ya que es un método que ayuda a determinar si las teorías propuestas son acertadas conforme lo real observado y posteriormente analizado. Finalmente se puede aceptar o rechazar tal teoría expuesta.

El método científico es un proceso destinado a explicar fenómenos, establecer relaciones entre los hechos y enunciar leyes que expliquen los fenómenos físicos del mundo entre otras aplicaciones. Para este estudio se utilizará el método mencionado para lograr establecer relaciones comparativas entre la productividad laboral de tres obras distintas, considerando la altura una característica principal entre las obras en estudio.

Al ser un método sistemático, ordenado y metódico, es indispensable conocer los pasos a seguir para cumplir con cada etapa de este y lograr los objetivos planteados.

El método a seguir obedece un sistema determinado tal como se mencionó anteriormente, sin embargo, la identidad de cada paso se desarrolla en base al estudio en sí. A continuación, se mencionan y describen los pasos generales de cualquier estudio con el método científico<sup>12</sup>:

1. Observación: Análisis sensorial sobre algo, una cosa, hecho, un fenómeno que despierta curiosidad. Conviene que la observación sea detenida, concisa y numerosa, no en vano es el punto de partida del método y de ella depende en buena medida el éxito del proceso.
2. Hipótesis: Es la explicación que se le da al hecho o fenómeno observado con anterioridad. Puede haber varias hipótesis para una misma cosa o acontecimiento, y éstas no han de ser tomadas nunca como verdaderas, sino que serán sometidas a experimentos posteriores para confirmar su veracidad.
3. Experimentación: Esta fase del método científico consiste en probar, experimentar, para verificar la validez de las hipótesis planteadas o descartarlas, parcialmente o en su totalidad.
4. Resultados: Este paso implica determinar lo que muestra la resolución del experimento y decidir las próximas acciones a tomar. Las predicciones de la hipótesis se comparan con las de la hipótesis nula, para determinar cuál es más capaz de explicar los datos.

---

<sup>12</sup> <http://www.biblioteca-medica.com.ar/2011/08/cuales-son-los-pasos-del-metodo.html>

5. Interpretación: En este paso se procesan los resultados para poder establecer la veracidad de la hipótesis propuesta al inicio del método.
6. Ciclo: Es posible volver a realizar el experimento construyendo una nueva hipótesis con la finalidad de comprobar los resultados, o cuando el experimento puede haber resultado mal.

### 3.2 Observación

Al trabajar en la industria de la construcción se ha observado que existe un vacío importante en el control de la productividad en las actividades que agregan valor en un proyecto, generando a su vez un déficit en el desarrollo de herramientas que mejoran la productividad y en implementaciones de sistemas que provoquen una cultura de eficiencia en la obra. Si bien la empresa constructora en estudio posee herramientas de control de productividad no posee un sistema adecuado de evaluación de la misma, es decir, posee datos pero no análisis de estos, por lo tanto no conoce que tan productiva es su obra.

Frente a esta situación se decide utilizar los antecedentes previos proporcionados por la empresa, los cuales son datos e información de obras anteriores y confrontarlos con datos obtenidos en terreno de la obra que se está ejecutando en el mismo momento temporal que se ejecuta este estudio.

### 3.3 Hipótesis

Uno de los principales objetivos de esta memoria es investigar y posteriormente corroborar o descartar la existencia de una diferencia sustancial en la productividad laboral de tres obras diferentes, considerando que la altura es un factor significativo en los resultados. Por esto se enuncian las siguientes hipótesis:

#### 3.3.1 Hipótesis nula

- Corroborar mediante datos empíricos que la productividad laboral de tres obras ubicadas en diferentes regiones del país no varía significativamente en las actividades de obra gruesa.

#### 3.3.2 Hipótesis alterna

- Que los resultados arrojados por el análisis indiquen que la productividad laboral en las actividades de obra gruesa sean significativamente diferentes en al menos una de las tres obras en estudio.

### 3.4 Definición de las variables

La variable de este estudio, tal como ya es de entreverse, es:

$$\text{variable} = \text{productividad laboral} \left[ \frac{\text{unidad de avance}}{\text{unidad laboral}} \right]$$

- Unidad de avance: ya que se analizarán tres actividades distintas, las unidades de medida de avance también lo son. Según la actividad a analizar estas pueden ser kg, m<sup>2</sup> o m<sup>3</sup>.
- Unidad laboral: corresponde a la unidad de fuerza de trabajo que se analizará en cada actividad, estas pueden ser Hora-Hombre u Hombre-día.

Según la clasificación de variables esta corresponde a una variable cuantitativa, ya que mide una cantidad numérica, además es de carácter continuo porque puede tomar cualquier valor dentro de un rango, al ser resultado de una fracción.

Esta variable es de calidad compleja, puesto que se requiere de dos índices para conformar su valor; avance y cantidad de trabajadores.

#### 3.4.1 Población y muestra

##### *Población*

Grupo del cual se desea obtener información. Es la parte del universo en la cual se va a basar el análisis según las características de la investigación. En otras palabras, es el conjunto total de individuos, objetos o medidas que poseen algunas características comunes observables en un lugar y momento determinado.

El presente estudio tiene una población de diecisiete obras correspondientes a las dieciséis ejecutadas por la empresa constructora y la ejecutada en el mismo espacio temporal de este trabajo. Las obras ejecutadas por la empresa constructora se encuentran ubicadas temporalmente entre los años 2003 y 2016.

##### *Muestra*

La muestra es una parte o un subconjunto de la población, también conocida como "población muestral". Es el grupo en el que se realiza el estudio. Esta muestra debe ser representativa de la población.

En el caso de este estudio la muestra corresponde a las tres obras sometidas al análisis:

- Residencia – San Pedro de Atacama
- Clínica - Talca
- Colegio - Santiago

## *Datos*

Los datos a medir corresponden a una característica de la muestra. Tal como se puede entender en el caso de medir la edad de cierta cantidad de individuos, donde la edad sería la característica asociada y medida, y la muestra sería las familias escogidas para realizar el estudio.

### 3.5 Procedimientos

Es importante exponer de manera sistemática el procedimiento a llevar a cabo para lograr los objetivos propuestos.

#### 3.5.1 Etapa 1: Indagación

Primeramente, tal como se ha mencionado anteriormente, hay que realizar una recolección de los antecedentes o base de dato que la empresa posee, ya que puede existir la posibilidad de que estos datos no tengan el sustento suficiente para participar en este análisis. Esta indagación se realizó examinando las últimas dieciséis obras ejecutadas de la empresa, donde se encontró que algunas carecían de datos para colaborar en el estudio.

Dentro de las obras con suficientes antecedentes se seleccionan las dos obras con datos de mayor utilidad para este estudio, en cuanto a cantidad de información suficiente, calidad de la información, menor antigüedad con respecto a la obra actual y distinta zonificación para poder generar un punto en comparación entre otras características.

Las dos obras escogidas fueron:

- Colegio – Santiago (2010).
- Clínica - Talca (2012).

En capítulos posteriores se indagará en las propiedades de cada una de las obras en análisis.

#### 3.5.2 Etapa 2: Recolección

Una vez terminada la recopilación y construcción de la base de datos se comienza con la fase de recolección de datos en terreno extraídos de la obra *“Residencia – San Pedro de Atacama”*. Este muestreo se realiza con un control diario de avances, midiendo toda actividad de obra gruesa armada ejecutada en el día de control.

#### *Obtención de datos in situ*

Las mediciones y controles ejecutados en terreno se realizan tanto cuantitativa como cualitativamente; al ir a terreno se esquematiza el avance con planos de planta y elevaciones según la sección que corresponda, a este documento se le denomina *“avance cualitativo”*, una vez obtenido todo el avance semanal observado in situ, se ejecuta el avance cuantitativo, con planillas de avances bruto y porcentuales, con esta última información se va actualizando los programas de trabajo en la carta Gantt y la curva *“S”*, la cual es una curva que representa

el avance real respecto al planificado en un periodo acumulado hasta la fecha de control, recibe ese nombre por su forma.

Cada vez que se terminaba una sección de obra gruesa, se confeccionaba un protocolo, para respaldar el control de calidad efectuado en cada elemento.

La cantidad de datos controlados son alrededor de 150 días correspondientes a la sección principal de obra gruesa ejecutada en la obra, donde se construyeron los elementos armados de mayor envergadura y de mayor variedad.

Con el control en terreno enfrentado a la cantidad de trabajadores ejecutando la actividad se obtienen los datos de productividad diaria, la variable en estudio.

Para unificar los datos en cuanto a información contenida en ellos se decide utilizar un valor semanal, es decir su frecuencia será de 5 días. Sin embargo, se poseen datos diarios, y para no dejar ningún tipo de información valiosa fuera, se construye un valor único de productividad que unifique y represente los valores diarios. Para esto se obtiene el promedio de trabajadores y el promedio de avance, y con esa información se obtiene el dato de productividad laboral a trabajar.

*Ecuación 4: Dato de productividad.*

$$\text{Dato de Productividad} = \frac{\overline{\text{Avance}}}{\overline{\text{Cantidad Hombres}}}$$

Esta forma de obtener el dato a estudiar viene dada por la mayor utilización de datos y así no se deja información medida fuera del análisis. Ya que al sacar la productividad diaria y luego el promedio de estas se está trabajando con promedios parciales y se pierde información.

### *Documentos*

Para obtener la información que revelaran los datos necesarios se utilizaron los siguientes documentos, como instrumentos de indagación y para la posterior construcción de las planillas de análisis por obra y por actividad:

- Control de avance de obra gruesa: Documento informativo interno de cada empresa para plasmar el avance periódico de cada elemento requerido.
- Protocolos: informes donde se muestra el cumplimiento al momento de entregar un determinado trabajo. A su vez esto se complementa con un informe que se realiza anterior al protocolo en el cual se indican los puntos no conformes los cuales se deben reparar para que el protocolo se cumpla exitosamente.
- Cubicaciones: documento donde se determina la capacidad o volumen de un elemento con dimensiones conocidas, y de esta manera cuantificar los elementos de una obra.

- Programas de trabajo: planillas o informes basados en la programación de la obra, estos deben contener la información relevante correspondiente a las fechas de inicio, término de cada partida y duración en días. Este documento muestra los avances teóricos que deben cumplirse diariamente, semanalmente o mensualmente dependiendo de cómo se establezca el control en obra.
- Control de asistencia de personal, libro de asistencia: registro utilizado para controlar el cumplimiento de asistencia por parte de los trabajadores y a su vez para determinar las horas hombre real utilizadas en cada partida.
- Control de gastos mensuales (balance mensual): registro de todos los cargos aplicados a la obra para conocer el beneficio/pérdida que se posee en todo momento, así como su evolución. Este documento ayuda a llevar el control económico necesario para llevar una gestión de gasto concorde a lo acontecido a lo largo del mes.
- Análisis de precios unitarios: es un cálculo matemático muy sencillo que estima el costo por unidad de medida de una partida. Para estimar aquellos costos se toman en cuenta los materiales, de los equipos y de la mano de obra que se requieren para ejecutar una unidad de la partida.

#### *Confeción de las planillas de análisis*

Es necesario construir una planilla con los datos obtenidos tanto en terreno como en la indagación de información de los antecedentes previos, para realizar un posterior análisis de manera ordenada con los datos e información estrictamente necesaria y requerida por este estudio.

Cada planilla se encuentra rotulada con el nombre de la obra, la actividad con la unidad dimensional correspondiente, las medidas de posición, y ordenados en cada columna, las fechas de mediciones, los avances computados y las cuadrillas de hombres que ejecutaron el avance asociado. Luego, en las siguientes columnas están los cálculos correspondientes a cada fila. En el *Anexo A* se adjuntan las fichas fabricadas de acuerdo a lo explicado.

Cabe destacar que los datos auscultados de la obra “*Colegio – Santiago*” se trabajarán en dos planillas diferentes:

- Una de las planillas se construye con todos los datos que fueron tomados con una frecuencia diaria, los cuales van desde los 45 a los 52 datos según la actividad. Esta planilla será considerada para tratamiento de avances acumulados y factor de productividad, puesto que estos parámetros son más exactos cuando se calculan con más información.
- La segunda planilla se realiza con datos promedio de productividad cada dos días de mediciones, ya que, si se utilizara la totalidad de los datos en el análisis comparativo, estos tendrían menor información que las otras obras y estaría en desventaja. Además de esta manera el número total de muestras sería similar en los tres casos.
- Los resultados obtenidos de cada planilla son concordantes puesto que no son datos independientes, si no que una es un subconjunto de la otra, tal como se obtuvo las

planillas para “Residencia – San Pedro de Atacama” y “Clínica – Talca” pero utilizando otra frecuencia.

### 3.5.3 Etapa 3: Investigación

Para continuar con el estudio propuesto, y una vez preparadas las fichas con toda la información requerida por el análisis, se procede a investigar qué modelo estadístico o matemático es el más idóneo para tratar los datos medidos según sus características.

Si bien en los capítulos posteriores se explicará y demostrará cada paso necesario para lograr descifrar el método adecuado para lograr resultados exitosos a lo largo de este análisis, a continuación se enumeran aquellos pasos:

#### *Análisis exploratorio de datos*

Antes de iniciar el análisis estadístico, es conveniente realizar una fase previa, encaminada a ir tomando contacto con los datos que va a analizar y familiarizarse con la naturaleza de los mismos. Este estudio previo, llamado análisis exploratorio de datos, se realiza sin ninguna hipótesis a priori, utilizando técnicas muy sencillas, donde abundan las representaciones gráficas.

Es en esta fase donde se empezarán a revelar las relaciones más evidentes existentes entre las variables que posteriormente se estudiarán con el rigor correspondiente.

Los principales objetivos de esta fase son:

- Familiarizarse con la naturaleza de los datos a analizar.
- Estudiar las principales características de la distribución de las variables.
- Tratar de poner en manifiesto las relaciones más evidentes que pudieran existir entre las variables.
- Detectar los valores atípicos.

### 3.5.4 Etapa 4: Análisis de datos

Posterior a la familiarización de los datos y la obtención de los parámetros que caracterizan a la muestra, es prudente iniciar el proceso de análisis más profundo, el cual revelará información trascendente que dará respuesta a las hipótesis planteadas.

Para escoger la familia de distribución correspondiente es necesario conocer las siguientes características de cada muestra:

- Número de datos de cada muestra
- Normalidad
- Uniformidad de varianza
- Escala métrica
- Independencia

Antes de comenzar a trabajar con los datos y someterlos a los test necesarios para reconocer las características y comportamientos, es recomendable identificar si existen datos atípicos u "outliers" ya que pueden haber sido datos mal medidos, mal escritos, correspondientes a un día anormal de trabajo, etc. Tal como se pudo identificar en el capítulo de análisis exploratorio de datos en el gráfico de caja y bigotes o box-plot, el cual es una representación visual que permite identificar, dentro de otras cosas, los datos atípicos, por lo tanto, es necesario estudiar estos datos e identificar si corresponde utilizarlos o no a lo largo de la investigación restante.

La elección del método para discriminar datos atípicos depende directamente de las características de la muestra.

Se escoge la prueba de Tukey o más conocido como diagrama de caja y bigotes primordialmente porque es una prueba que no necesita un previo comportamiento normal de los datos como ocurre con otras pruebas similares, por lo tanto, será válida tanto para las muestras normales como las no normales.

Usando los mismos cálculos necesarios para construir el diagrama de cajas y bigotes, puede hacerse detección automática de los valores atípicos presentes en un conjunto de datos.

El método consiste en identificar los valores que sobrepasan cierto rango considerando los cuartiles como referencias. La longitud máxima de cada uno de los bigotes es de 1,5 veces el rango intercuartil (IQR) por encima y por debajo de los cuartiles. Las observaciones fuera de los bigotes son dibujadas separadamente y etiquetadas como valores atípicos. El método de tukey utiliza un rango de 3 veces adicionalmente del rango de 1,5 veces, las observaciones que están entre 1,5 y 3 veces el rango intercuartil reciben el nombre de atípicos leves. Las observaciones que están más allá de 3 veces el rango intercuartil se conocen como valores atípicos extremos. En la figura 2 se muestra un diagrama de caja y bigotes identificando los valores atípicos leves y graves.

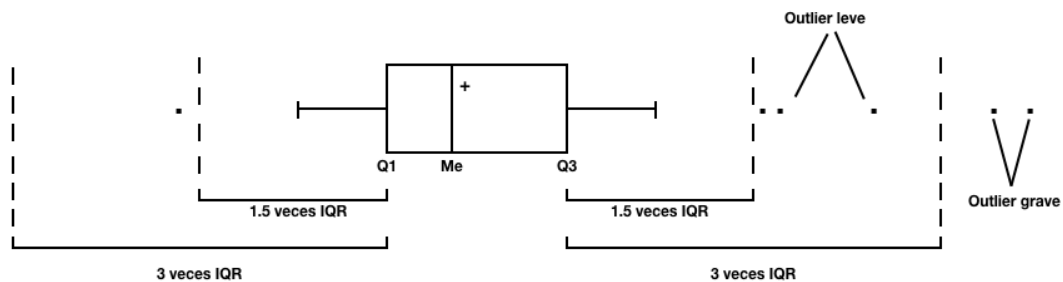


Ilustración 3: Diagrama de caja con valores atípicos leves y graves.

Referencia: Iván Amón. Guía metodología para la selección de técnicas de depuración de datos. Tesis de maestría en ingeniería de sistemas. Medellín. Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Minas. 2010. 86 h.

En este estudio se desestimarán solamente los valores atípicos graves, puesto que los leves pueden significar una baja productividad por factores que se están tomando en cuenta en este estudio y sería desafortunado dejarlos fuera del análisis, mientras que los valores muy extremos, los mencionados atípicos graves, pueden ser debido a una mala lectura, a una transcripción de datos errónea, a algún día no trabajado etcétera, en definitiva, factores que

no se analizarán a lo largo de este estudio. De esta forma se obtendrá la muestra real a trabajar.

Ya depurados los datos de cada muestra, y al comprobar la validez o desestimación de las propiedades mencionadas, es posible determinar si las pruebas a ejecutar corresponden a la familia de las pruebas paramétricas o no paramétricas, estas últimas no deben ajustarse a ninguna distribución conocida, pueden aplicarse incluso no se cumplan las condiciones de validez expuestas, al contrario que las pruebas paramétricas las cuales exigen cierto grado de cumplimiento de validez para que los resultados sean confiables. Las pruebas no paramétricas son más robustas que las paramétricas, en otras palabras, son válidas en un rango más amplio de situaciones (exigen menos condiciones de validez).

Para comprobar y verificar las condiciones exigidas se utilizan diferentes contrastes o métodos según corresponda. Estos serán evidenciados y explicados en cada caso utilizado, para que el lector comprenda de mejor manera, cada paso seguido, cada hipótesis propuesta, y las decisiones tomadas conociendo los resultados de cada método.

### *Análisis Comparativo*

Corroboradas las condiciones de forma, parámetros y comportamiento de la muestra es posible determinar la prueba de contraste idónea para tratar los datos. Esta prueba, corresponde al contraste Kruskal- Wallis, escogida tomando en cuenta todas las condiciones que exige este método, explicado y evidenciado en capítulos posteriores.

Se estima conveniente exponer las características de este método en este apartado y no en el análisis propiamente tal, como si se sugiere en las comprobaciones del mismo, debido a que el método utiliza solo un indicador, que es el empleado para los tres casos de estudio de esta memoria.

El método de Kruskal-Wallis es una prueba análoga a ANOVA (método utilizado para contrastar varios grupos de variables cuantitativas) pero no requiere que las muestras tengan un comportamiento normal.

La prueba Kruskal-Wallis es una alternativa a la prueba F del análisis de Varianza para diseños de clasificación simple. En esta prueba se comparan varios grupos, pero usando la mediana de cada uno de ellos, en lugar de las medias, esto es debido a que, al ser una muestra con datos alejados de la normalidad, el mejor representante para ellos no es la media, si no que la mediana.

Cabe destacar que cada análisis exige una cantidad mínima de datos para que los resultados sean considerados válidos. En el caso de las pruebas no paramétricas es considerado válido para muestras pequeñas iguales o menor a 50 datos, lo cual, valida todos los casos tratados en este estudio, ya que el  $n$  varía entre 24 y 30 datos.

El estadístico correspondiente al método escogido obedece la siguiente expresión.

*Ecuación 5: Estadístico de Prueba Kruskal-Wallis.*

$$H = \left[ \frac{12}{n(n+1)} \sum_{i=1}^k \frac{R_i^2}{n_i} \right] - 3(n+1)$$

Donde:

*H*: Estadístico de prueba K-W

*R<sub>i</sub>*: Suma de rangos, por cada muestra

*n<sub>i</sub>*: Número de datos de cada muestra

*n*: número total de datos, sumatoria de los *n<sub>i</sub>*.

El contraste de Kruskal-Wallis es más potente que un contraste no paramétrico semejante, como el contraste de la mediana, cuando se utiliza para varios grupos.

Es importante determinar el rango de criterio a utilizar en esta prueba, de tal manera que el lector identifique porque se está considerando aceptada o rechazada una hipótesis:

- Si  $H(\text{observado}) > k$  (valor crítico); Se rechaza  $H_0$ , aceptando la hipótesis alternativa.
- Si  $H(\text{observado}) < k$  (valor crítico); Se acepta  $H_0$ ,

Este método proporciona información sobre la posible igualdad de medianas entre grupos (3 o más) y permite rechazar la hipótesis de igualdad cuando el valor *p* sea mayor a 0,05, es decir con un 95% de confianza. Sin embargo, no es capaz de determinar cuál es el de mayor diferencia entre ellos, para este segundo análisis se utiliza la prueba de comparación múltiple de Dunn (1964), que al poseer el mismo paquete estadístico que el de K-W facilita su cálculo.

La prueba de comparación de Dunn combina los datos, jerarquizándolos para hallar rangos de medias (medianas) grupales y luego obtiene las diferencias absolutas estandarizadas de los rangos promedio, de esta forma se puede descubrir cuál o cuáles corresponden a un grupo de significancia diferente y K-W lo indica.

Para realizar los análisis estadísticos mencionados se realiza de manera manual, y para su comprobación se utiliza el paquete XLSTAT, el cual es un complemento asociado a las versiones recientes de Excel.

Los contrastes de comparaciones múltiples (o comparaciones a posteriori) proporcionan información detallada sobre las diferencias entre las medias o medianas dos a dos de todas las posibles parejas del grupo y cada una de ellas tendría un error tipo I o también error  $\alpha$ . Este error corresponde a la probabilidad de rechazar la hipótesis nula cuando en realidad es cierta.

Existen diversos métodos para ajustar este tipo de error y conseguir que efectivamente el error no sea superior al 5%. El método utilizado por el complemento XLSTAT es el "método de Benferroni", el cual es bastante conservador y depende solamente del número de comparaciones, su forma de operar es sustituyendo el error  $\alpha$  por  $\alpha/n_c$ , donde  $n_c$  es el número de comparaciones.

El valor  $\alpha$  corresponde al nivel de significación de la prueba ejecutada, en este estudio se usará 95% de confianza, por lo tanto  $\alpha= 5\%$ , lo que indica que existen cinco oportunidades entre 100 de rechazar la hipótesis cuando debiera haberse aceptado, es decir que se tiene un 95% de confianza de que se ha tomado la decisión correcta.

## 4 DESCRIPCIÓN DE PROYECTOS

### 4.1 Descripción de los proyectos en estudio.

Para el desarrollo de la presente investigación se obtuvieron muestras de tres obras diferentes, escogidas de acuerdo a lo que se menciona en el capítulo 3. Sin embargo, no se ha profundizado en cada una de ellas ni en las características relevantes para este estudio. Aquellas propiedades se presentan a lo largo de este capítulo.

#### 4.1.1 Obra “Residencia – San Pedro de Atacama”

##### *Características generales*

El proyecto “Residencia – San Pedro de Atacama” comenzó su construcción en febrero de 2015, culminando en noviembre de 2016. Esta obra tiene por objetivo albergar a los funcionarios y trabajadores del observatorio ALMA. Las características de este complejo son similares a las de un hotel, posee 6 edificios, de dos plantas cada uno, con 120 habitaciones en su totalidad y un edificio principal que cuenta con los servicios de: casino, comedores, salas de reuniones y piscina entre otros. De acuerdo a la forma que posee la infraestructura de esta obra, se puede establecer que un gran porcentaje posee un patrón de construcción. La planta del hotel que será para habitaciones más el edificio principal tiene una extensión de 5.900 m<sup>2</sup>.



*Ilustración 4: Hotel Residencia ALMA- San Pedro de Atacama.  
Referencia: Archivos Empresa Constructora.*

## Ubicación

Es un proyecto edificado a 30 kilómetros al sur de la localidad de San Pedro de Atacama y a 3000 m.s.n.m. aproximadamente, en la región de Antofagasta.



Ilustración 5: Ubicación Proyecto ALMA.

Referencia: Google Earth.

## Equipo de trabajo

Para la obra se utilizó un equipo de trabajo 100% externo a la zona, tanto la mano de obra como los profesionales a cargo, los cuales habitaban en un campamento cercano a las inmediaciones del proyecto. El turno laboral fue inicialmente de 20X10 durante los primeros 10 meses de trabajo y luego cambió a 10X10 para todas las especialidades de la obra.

## Características de obra gruesa

Tal como ya se ha mencionado, el presente estudio considera elementos armados, tales como fundaciones, pilares, muros, losas y vigas, dejando fuera todo elemento de menor envergadura o no armado.

### A. Enfierradura

La mano de obra utilizada en "Residencia – San Pedro de Atacama" corresponde a trabajadores propios de la empresa que desarrollan diversos trabajos además de la enfierradura. El fierro utilizado tanto en muros y losas se proveía doblado, es decir,

los trabajadores lo deben instalar según planos de cálculo. La cantidad total de fierro utilizado en la obra fue de 207.992,3 kg.

Además, es importante destacar la cuantía de la obra, la cual indica la cantidad de fierro en kilogramos por metros cúbicos de hormigón. El cálculo de la cuantía se realiza en base a la información obtenida de la planilla de control de avance de obra gruesa, considerando el avance real de cada actividad como dato en este cálculo.

Como es de entender, cada elemento armado posee su propia cuantía, por lo que se trabajará con el promedio del valor obtenido en cada caso. La cuantía promedio obtenida fue de 88,728 [kg/m<sup>3</sup>]. La tipología empleada es C&D + i, la cual se expuso en el apartado 2.1.3.2 *ENFIERRADURA*, lo cual indica corte y doblado externo, solo instalación en obra.

#### B. Moldaje

El moldaje utilizado corresponde al tipo industrial metálico marca ULMA, el cual se entrega modulado según corresponda y los trabajadores cumplen con la actividad de instalarlo. Si bien esta actividad se asemeja más a la instalación de moldajes siempre deben ejecutar algún ajuste o reparación de alguna imperfección que posea la partida. El tipo de moldaje instalado corresponde al manuable que consiste en moldajes de muros, vigas, pilares o losas que se montan, descimbran y transportan a mano sin necesidad de equipos especiales. Son moldajes cuyas partes son livianas y se deben armar y desarmar completamente en cada uso. En ningún momento el moldaje excede los límites de carga máxima definidos en ley<sup>13</sup>.

Si bien el sistema manuable no necesita la utilización de equipos extra, se utilizó una grúa de apoyo para disminuir los tiempos de traslados.

La mano de obra se caracteriza por ser carpinteros propios de la constructora. Los metros cuadrados de instalación son aproximadamente 17.582,4 m<sup>2</sup>.

#### C. Hormigón

La característica principal de esta actividad corresponde a la ubicación del abastecimiento del hormigón. La principal planta abastecedora está ubicada en obra que genera menores costos de traslado y disminuye la probabilidad de retraso del producto por lo que se espera que este factor influya de manera positiva en la productividad. La forma de llenado utilizado fue de capacho con una grúa.

La mano de obra utilizada en esta actividad, llamados concreteros, corresponden a trabajadores propios de la empresa. La cantidad de metros cúbicos utilizados en esta obra es de aproximadamente 2249,3 m<sup>3</sup>.

### *Características de terminaciones*

El análisis de terminaciones solo se realizó en la obra “Residencia – San Pedro de Atacama” ya que no se poseen datos fidedignos para poder realizar un análisis comparativo entre obras, pero sí es posible estudiar diferencias internas entre la ejecución de un tabique prefabricado y uno “in-situ”.

---

<sup>13</sup> Manual de moldaje, Cámara Chilena de la Construcción, enero 2014.

Para estudiar de manera real el rendimiento de cada trabajador se genera una planilla de control de avance que es aplicada con una frecuencia diaria durante un mes completo. Se fija como fecha de inicio de control el comienzo de la partida de enlucido en yeso de un edificio en particular (7 de marzo 2016, comienzo de enlucido en Bloque B2).

Los tabiques prefabricados utilizados en la obra son de tres diferentes tipos: T01, T10 y T07. Para el análisis de productividad de montaje de tabiques se decidió controlar el tabique tipo T07 puesto que corresponde al de mayor extensión (este equivale al 65% del total de tabiques utilizados).

Tabique divisorio de habitaciones:

- Tipo en proyecto: T07
- Dimensiones: 3.15mt X 3.24mt X 0,15mt (sin terminaciones)
- Cantidad: 96 unidades
- Composición:
  - 1 PLACA YESO CARTON ST 10mm
  - 2 PLACAS YESO CARTON ST 15mm
  - ESPUMA DE POLIETILENO EXP. 3mm
  - AISLANGLOSS R141 60mm
  - ESPUMA DE POLIETILENO EXP. 3mm
  - 2 PLACAS YESO CARTON ST 15mm
  - 1 PLACA YESO CARTON ST 10mm

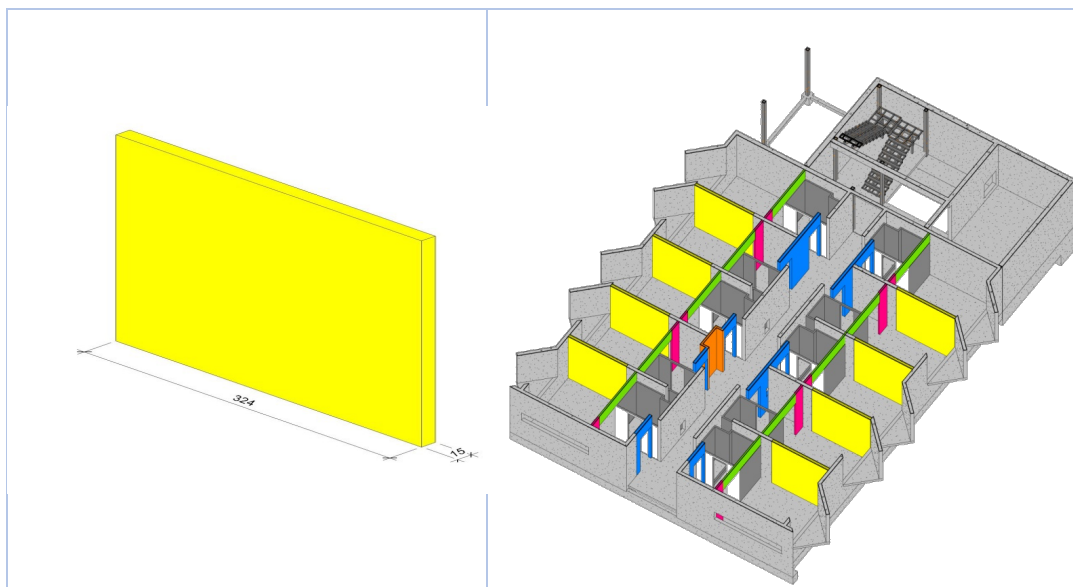


Ilustración 6: Dimensiones Tabique T07. Posición según planta.  
Referencia: Documentos Obra "Residencia ALMA"

#### 4.1.2 Obra "Clínica - Talca"

##### *Características generales*

Este proyecto se sitúa a lo largo del año 2012, en su mayor amplitud. El desarrollo de esta obra surge de la necesidad de ampliar y remodelar la infraestructura de la Clínica Lircay, por

lo que posee como particularidad ser una obra adosada a un edificio existente lo que conlleva ciertas condiciones especiales de construcción. La intervención es de aproximadamente 6000 m<sup>2</sup>.

Las áreas clínicas remodeladas corresponden a: cardiología, urgencia, pabellones quirúrgicos, recuperación, hospitalización, laboratorios y servicios de apoyo clínico además de nuevas áreas médicas como maternidad, ginecología y pediatría. La estructura ampliada está compuesta por elementos de hormigón armado y estructuras metálicas. El edificio existente es reforzado estructuralmente mediante nuevos muros de hormigón armado y la aplicación de fibras de vidrio. En la ilustración 7 se puede observar un plano de planta donde los sectores A1, A2 y B eran los existentes, la zona denominada como A0 fue la obra en ejecución la que contaba con cinco pisos. Además, se ejecutó un subterráneo bajo A1 - A2 y tres pisos sobre A1, A2 y B y finalmente la remodelación de los dos pisos pre-existentes. De acuerdo a todas las características entregadas de infraestructura se puede determinar que la obra no cuenta con un patrón definido de construcción.

Cabe destacar que la construcción se llevó a cabo con la clínica en funcionamiento.

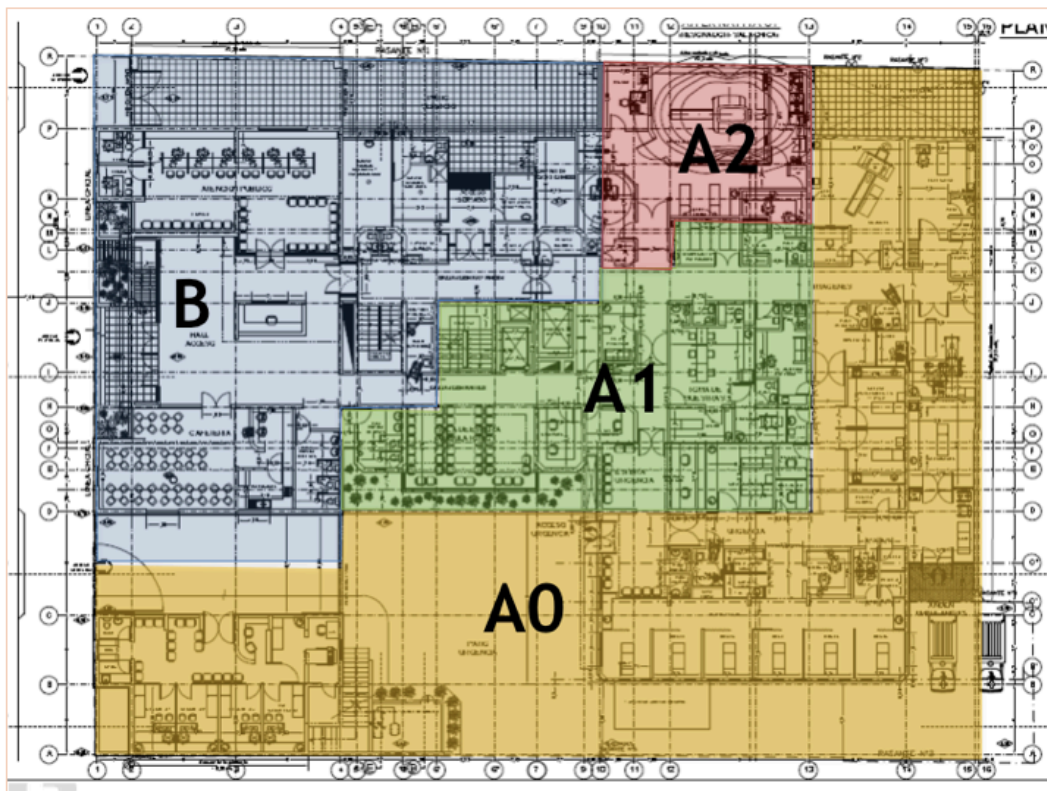
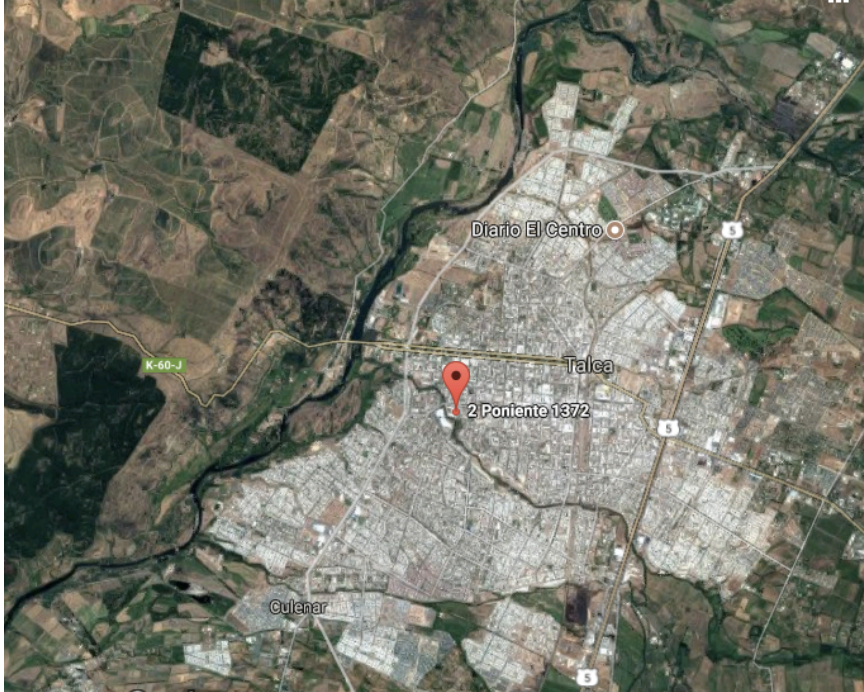


Ilustración 7: Plano Planta obra Clínica - Talca.

Referencia: Documentos Empresa constructora, Obra "Clínica - Talca"

## Ubicación

La clínica está ubicada en Talca, región del Maule, con dirección 2 poniente 1372. A continuación, se muestra un extracto de google earth para posicionar referencia:



## Equipo de Trabajo

La mano de obra utilizada en esta obra fue 50% local y 50% externa, donde el horario de trabajo fue de 8:00 am a 18:00 horas, correspondiente a un turno de 5x2 por lo que no es necesario el uso de campamentos de residencia, si no que cada trabajador tiene la posibilidad de pernoctar en su domicilio particular. El personal externo poseía un bono de alojamiento y de la misma manera pernoctaban en la zona.

## Características de obra gruesa

### A. Enfierradura

En la Clínica Lircay se utilizó el sistema de instalación de fierro ya que el proveedor entregaba el servicio de corte y doblado por lo que la medición de la productividad de esta actividad fue basada prácticamente en la instalación del fierro. El equipo de enfierradores que realizaron esta actividad son trabajadores locales contratados permanentemente por la constructora. La tipología empleada es C&D + i, la cual indica la instalación se realizó en obra y el corte y doblado fueron externos. La cantidad de Enfierradura utilizada en esta obra fue de aproximadamente 83798,68 [kg].

Tal como se expuso en el mismo apartado de la obra "Residencia – San Pedro de Atacama" es importante identificar la cuantía para este caso. De la misma forma que

se obtuvo el cálculo anterior se procedió a evaluar la cuantía para esta obra cuyo valor promedio obtenido fue de 81,234 [kg/m<sup>3</sup>].

#### B. Moldaje

El moldaje utilizado en la obra corresponde al tipo industrial manuportable (descrito en la obra “Residencia – San Pedro de Atacama”) de marca RMD. Si bien el sistema manuportable no necesita grúa para su instalación, esta se utilizó como apoyo para el transporte.

Los carpinteros que desempeñaron esta actividad eran trabajadores locales contratados directamente por la empresa.

La cantidad de moldaje utilizado fue aproximadamente 8436,4 [m<sup>2</sup>].

#### C. Hormigón

En la actividad de hormigonado se utilizó trabajadores de la zona contratados directamente por la empresa. La actividad de llenado se llevó a cabo utilizando una grúa y capacho con una planta abastecedora externa a la obra.

Los metros cúbicos utilizados en esta obra fueron de aproximadamente 1178,9 [m<sup>3</sup>].

### 4.1.3 Obra “Colegio - Santiago”

#### *Características generales*

La mayor envergadura del colegio se llevó a cabo el año 2010. El proyecto contempla el desarrollo de un edificio nuevo y un edificio existente para remodelación, este último se conecta con el nuevo edificio. El edificio A posee dos subterráneos de estacionamientos y cuatro pisos nuevos, en primer piso posee un hall de ingreso, patio cubierto, biblioteca y sala de computación, en el segundo piso se desarrolla el sector de dirección y administración y en el tercero y cuarto piso están las aulas.

El edificio B, remodelado, se comunica con el edificio A en todos sus pisos, la cubierta abarca ambos edificios. Este edificio posee un subterráneo donde se desarrolla el sector de baños para el personal y dependencias. El primer piso se remodela el sector de enfermería, comedor, oficinas, baños y patio cubierto. El segundo piso se ejecuta un baño para profesores, en tercer piso se remodelan las aulas existentes y baños. En cuarto piso se desarrollan los laboratorios.

El proyecto consulta las siguientes superficies:

- Edificio Nuevo: 2.600 m<sup>2</sup> aprox. sobre cota cero y 1.900 m<sup>2</sup> de subterráneo.
- Remodelación: 1.110 m<sup>2</sup> aprox.
- Ampliación: 380 m<sup>2</sup> aprox.

## Ubicación

El colegio se encuentra ubicado en Pedro de Valdivia # 320, Providencia, Santiago de Chile. A continuación, se presenta un extracto de la aplicación maps para una mejor comprensión del lugar de la obra.

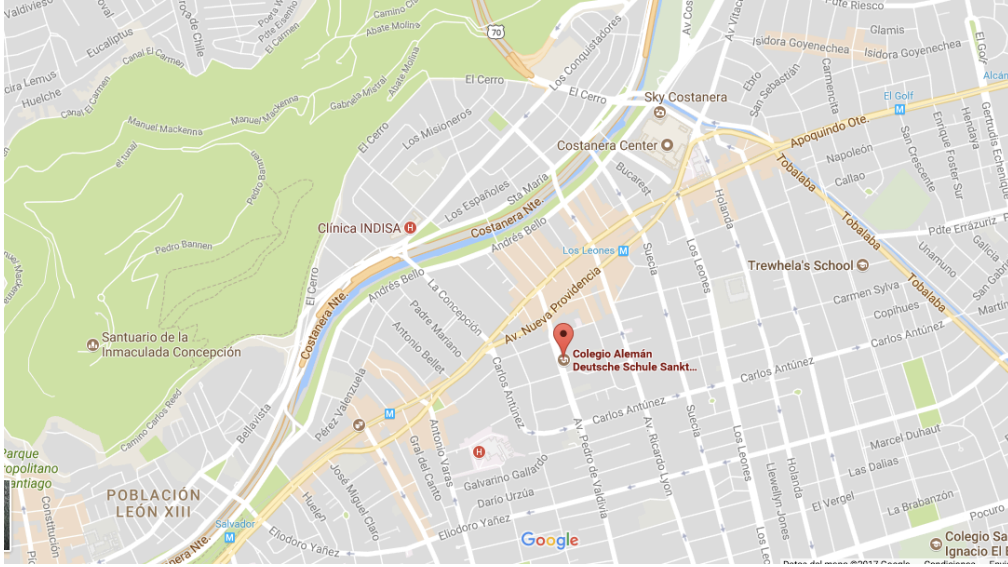


Ilustración 8: Ubicación mapa Obra Colegio Sank Thomas Morus.

Referencia: Google maps

## Equipo de trabajo

El equipo de trabajo contemplado en la construcción del colegio fue 100% local con residencia particular en Santiago (tanto el equipo administrativo como el de terreno), los subcontratos también eran de empresas localizadas en Santiago. La jornada laboral era de 45 horas semanales, 8 horas diarias.

## Características de obra gruesa

### A. Enfierradura

Para la actividad de Enfierradura se subcontrató a un equipo especialista en esta faena que cumplían con la actividad de instalación del producto que el proveedor suministraba cortado y doblado. La empresa provenía de Santiago por lo que no requerían de campamentos ni arriendos estacionales. La tipología empleada corresponde a C&D + i (corte y doblado externos, instalación en obra).

La cantidad de enfierradura utilizada en esta obra fue de 123.204,7 [kg] aproximadamente.

La cuantía de la obra es de 104.837 [kg/m<sup>3</sup>].

## B. Moldaje

El Moldaje utilizado en la obra corresponde al tipo industrial manuportable de marca ULMA el que era apoyado por grúa para disminuir los tiempos de traslados. El equipo de trabajo que llevo a cabo esta actividad eran subcontratos de una empresa especialista en esta labor sin la necesidad de brindarles alojamiento en la zona ya que todos eran trabajadores locales.

El total de moldaje utilizado en esta obra fue de 7782,79 [m<sup>2</sup>].

## C. Hormigón

Para cubrir esta labor se utilizó a un equipo subcontratado local, la empresa que brindó este servicio era local de la ciudad de Santiago. El abastecimiento de hormigón se llevó a cabo con una planta externa, y el proceso de llenado fue ejecutado con bomba telescópica o “placing”.

La cantidad de hormigón utilizada en esta obra fue de 4020,00 [m<sup>3</sup>] aproximadamente.

## 4.2 Conjeturas previas al análisis

Lo que busca el siguiente apartado es exponer los supuestos esperables al comparar la productividad laboral en las distintas obras en estudio. De esta manera los resultados del análisis podrían confirmar o invalidar las conjeturas más utilizadas por los proyectistas al momento de realizar la valoración de precios unitarios, o crear un acercamiento a las posibilidades de obtener una productividad deficiente bajo ciertas condiciones de trabajo.

Para determinar los principales factores que se considerarán como responsables de las variaciones de productividad, en cada obra analizada se toman aquellos expuestos en el capítulo N°1: Marco teórico, y se analizarán de tal manera de considerar los que posean mayor participación o incidencia en las obras estudiadas.

Para respaldar o validar la designación de factores responsables se realiza una encuesta a 43 trabajadores, 6 profesionales y 1 administrador de obra (todos ellos de la obra *Residencia – San Pedro de Atacama*), entrevistando a un total de 50 personas.

En la encuesta entregada a los participantes se presentan todos los factores expuestos en este estudio, ordenados por su alcance en las actividades o en la obra en general. Los participantes de la encuesta deben marcar los campos que consideren con mayor incidencia de acuerdo a su propia experiencia.

En la tabla N° 2 se adjuntan los resultados obtenidos al realizar la encuesta.

Alcance	Tipo de Factor	Factores	Tr.	Pr.	Ad.	Total (%)
General	Propia Estudio	Ubicación geográfica	38	5	1	88%
General	Diseño	Cantidad de muros	13	2	0	30%
General	Diseño	Unidades por piso	12	2	0	20%
General	Diseño	Estándar de calidad	31	4	1	72%
General	Metodología	Fases definidas	11	1	0	24%
General	Metodología	Cuadrillas especializadas	23	3	0	52%
General	Metodología	Subcontratos obra gruesa	33	3	1	74%
General	Metodología	Rango de Mano de obra	29	4	1	68%
General	Metodología	Movilidad trabajadores	16	3	1	40%
General	Metodología	Meta de avance	34	4	1	78%
Enfierradura	Diseño	Nivel de complejidad de elementos	9	3	1	59%
Enfierradura	Tecnología	Tipología de enfierradura	12	5	1	82%
Enf + Mold	Diseño	Grado de simetría	16	2	0	58%
Moldaje	Tecnología	Tipo de moldaje	8	4	1	81%
Mold + Hor	Tecnología	Cantidad de Grúas	17	2	0	54%
Hormigón	Tecnología	Bombas de hormigón	15	3	1	73%

Tabla 2: Encuesta factores de productividad Obra "Residencia ALMA".

Referencia: Elaboración propia.

Dentro de la encuesta cabe destacar los siguientes puntos:

- La encuesta fue realizada a los 43 trabajadores mencionados, sin embargo, estos se encuentran sub divididos obedeciendo la actividad que ejercen, los cuales son; 15 enfierradores, 9 instaladores de moldaje y 19 concreteros.
- Los factores de alcance general fueron consultados a los 50 encuestados.
- Los profesionales y el administrados fueron consultados por la totalidad de factores.

De acuerdo a lo anterior descrito fue calculado el porcentaje total, este porcentaje indica la cantidad de personas que consideran que tal factor interviene en la productividad en la actividad consultada.

Por estas razones se consideran los siguientes factores como los más influyentes en las actividades estudiadas; Además se expone de manera explicativa cada conjetura referida a los factores escogidos.

- **Relativo a la ubicación geográfica:** Es esperable que el rendimiento asociado a la obra "Residencia – San Pedro de Atacama" sea la que genere una menor productividad en actividades de gran esfuerzo físico dado la altura geográfica en la que se encuentra. En este punto se incorporará la variable climática, la cual se espera que tenga un comportamiento similar a la altura geográfica como factor influyente en el rendimiento. Además, se espera que la obra "Colegio - Santiago" sea la que posea un mayor rendimiento debido a la ubicación centralizada donde se emplaza, esto

permite que las tecnologías y materiales se encuentren con mayor disponibilidad y accesibilidad.

- **Estándar de calidad:** El concepto de Estándar de Calidad es propio de la Empresa, es la empresa que establece su sello de calidad, por lo tanto, no es un factor incidente en este análisis.
- **Subcontrato de obra gruesa:** Es esperable que los equipos subcontratados generen una mayor productividad que los propios de la empresa puesto a que estos se especializan en una actividad en particular, esta situación ocurre en la obra “Colegio - Santiago”.
- **Rango de mano de obra:** Se evaluará en cada caso si la cantidad de trabajadores propuestos corresponde a la cantidad de trabajo ejecutado. Sin embargo, la empresa determina la cantidad de trabajadores según la carga de trabajo a realizar, y utiliza el mismo criterio en las tres obras, por lo que se establece que no será un factor incidente en este análisis.
- **Meta de avance:** Muchas veces las metas suelen ser ambiciosas y la tecnología o diseño no la acompañan. Sin embargo, las metas propuestas en cada obra, al igual que en el caso anterior, son fijadas bajo los mismos criterios por lo que no debiera ser un factor de mayor incidencia.
- **Nivel de complejidad de elemento:** Para poder comparar de forma cuantitativa este factor se considera que la cuantía del elemento será un indicador del mismo, debido a que su instalación es más compleja producto del entramado del fierro (al tener más fierro por metro cubico de hormigón), puesto que mientras más barras posea el elemento, más complejo será posicionarlas y vibrar el hormigón dentro de ellas ya que genera una malla más compacta y de difícil acceso. Al revisar este factor se observa que las diferencias de cuantía en cada obra no son muy diferentes, por lo tanto, el nivel de complejidad debiera ser similar.
- **Tipología de enfierradura:** Según el artículo “Análisis de la productividad en obras de edificación en Chile” de la Corporación de desarrollo tecnológico de la cámara chilena de la construcción la tipología de enfierradura es bastante incidente en la productividad de las obras de construcción (capítulo N°1: Marco Teórico).
- **Grado de simetría:** Las actividades de Enfierradura y Moldaje involucran un proceso de instalación en línea; si este proceso puede mecanizarse será más rápida su producción, por lo tanto, es esperable que la configuración de patrón en las obras de “Residencia – San Pedro de Atacama” y “Colegio - Santiago” sean un factor favorecedor del rendimiento.
- **Tipo de moldaje:** Este factor es el más incidente en las actividades de moldaje, sin embargo, en las tres obras se utilizó el mismo tipo por lo cual la comparación será con lo que indica la teoría.
- **Bombas de hormigón:** Es esperable que la bomba ubicada en las inmediaciones de la obra tenga una mayor productividad en la actividad de hormigonado debido a que se minimizan los riesgos asociados al traslado.

## 5 ANÁLISIS NUMÉRICO

### 5.1 Análisis exploratorio de datos

Para comenzar con el presente capítulo se presentará un análisis descriptivo que busca exponer en forma resumida y sistemática los datos medidos. De esta manera, se tendrá una primera aproximación del comportamiento, forma, dispersión de la variable en estudio, es decir, se pretende generar una familiarización de los datos obtenidos.

Como se ha explicado anteriormente, la variable en estudio es el rendimiento que posee un hombre durante un día laboral normal, y es medida dentro de tres cuadrillas con diferentes labores y la situación se repite para tres obras distintas.

A continuación, se exponen los indicadores obtenidos para cada partida evaluada. Si bien el registro de datos fue realizado en tiempos diferentes para distintas obras, en esta sección se mostrarán de manera conjunta para visualizar las posibles diferencias o variaciones entre una obra y otra.

#### 5.1.1 Enfierradura

La variable de estudio en este caso indica la cantidad de fierros instalados por un hombre en un día normal trabajado [kg/HD].

Obras	N	Promedio [kg/HD]	Desviación Estándar
<b>Residencia – San Pedro de Atacama</b>	26	77,97	39,92
<b>Clínica - Talca</b>	27	97,55	69,14
<b>Colegio - Santiago</b>	26	188,64	66,27

Tabla 3: Resumen Enfierradura.

Referencia: elaboración propia.

Lo primero que se puede notar es que las muestras no poseen el mismo número de datos, esto será de utilidad para escoger el método de análisis más adelante.

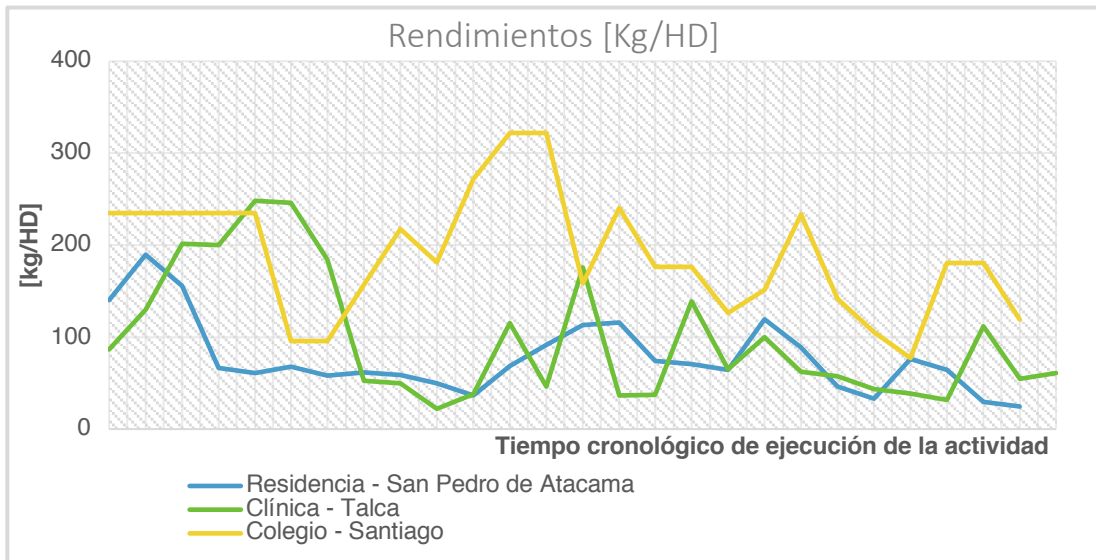


Gráfico 10: Rendimientos Obras, Actividad Enfierradura.  
Referencia: Elaboración propia.

En el gráfico 10 se puede observar claramente que la línea correspondiente a “Residencia – San Pedro de Atacama” (celeste) está completamente por debajo de la línea que representa al rendimiento efectuado por la obra “Colegio - Santiago” (amarilla). Esta apreciación se ve respaldada por la tabla 3, donde se puede observar los valores de promedio de cada obra. Con esto se puede obtener una primera aproximación de la hipótesis planteada al inicio de este estudio.

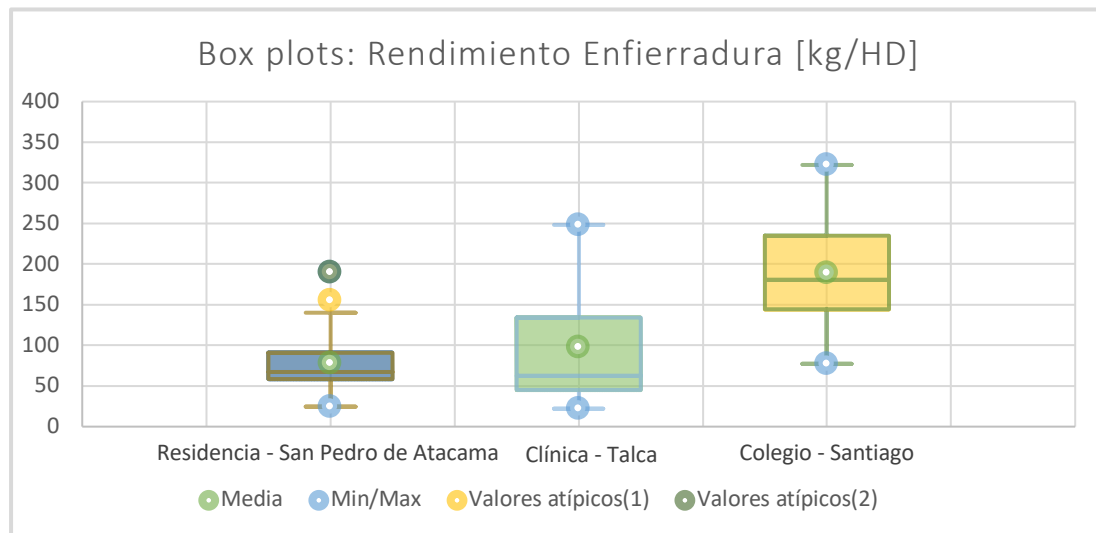


Gráfico 11: Box Plot Rendimientos Actividad de enfierradura.  
Referencia: Elaboración propia.

Al analizar el gráfico 11 se puede observar lo siguiente:

- La obra “Residencia – San Pedro de Atacama” posee una mediana que puede identificarse como no muy buena representante de su muestra, puesto que las cajas

superiores e inferiores difieren en su magnitud. En cuanto a su dispersión es bastante alta determinada por la magnitud de los bigotes.

- La obra “Colegio - Santiago” tiene agrupado la mayoría de sus datos en la parte superior, al igual que su dispersión es mayor en el tramo superior, lo que indica que la media es menos representativa que en los otros dos casos.
- Por otro lado, se puede apreciar que la muestra “Colegio - Santiago” es bastante simétrica en cuanto a forma y dispersión en comparación a las otras dos muestras, lo que nos dice que realizar el estudio comparativo utilizando la mediana parece ser una aproximación acertada como primera lectura.

### 5.1.2 Moldaje

La variable rendimiento medida en este caso corresponde a la cantidad de metros cuadrados instalados por un hombre en un día laboral normal, esta variable posee las dimensiones m<sup>2</sup>/HD.

Obras	N	Promedio [m <sup>2</sup> /HD]	Desviación Estándar
Residencia – San Pedro de Atacama	25	5,45	3,20
Clínica - Talca	25	3,59	3,64
Colegio - Santiago	24	10,92	6,30

Tabla 4: Resumen Estadístico Moldaje.

Referencia: Elaboración propia.

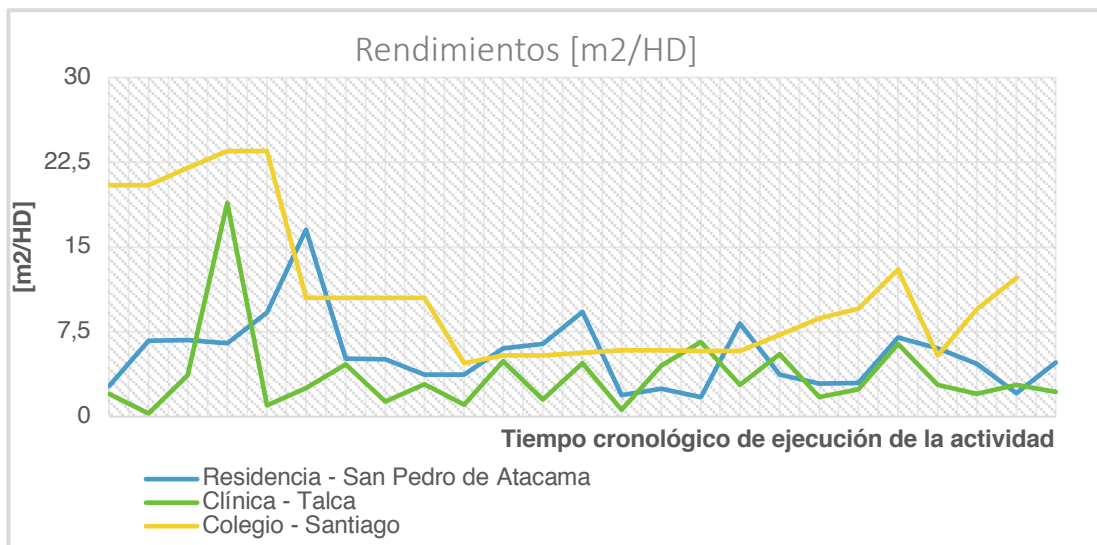


Gráfico 12: Rendimientos Obra. Actividad Moldaje.

Referencia: Elaboración propia

Al observar el gráfico 12 se puede visualizar que los rendimientos asociados a las obras de “Residencia – San Pedro de Atacama” y “Clínica - Talca” son bastante similares en cuanto a sus parámetros máximo y mínimo, a diferencia de la obra “Colegio - Santiago” que posee un peak más alto y se ve que las variaciones son menores.

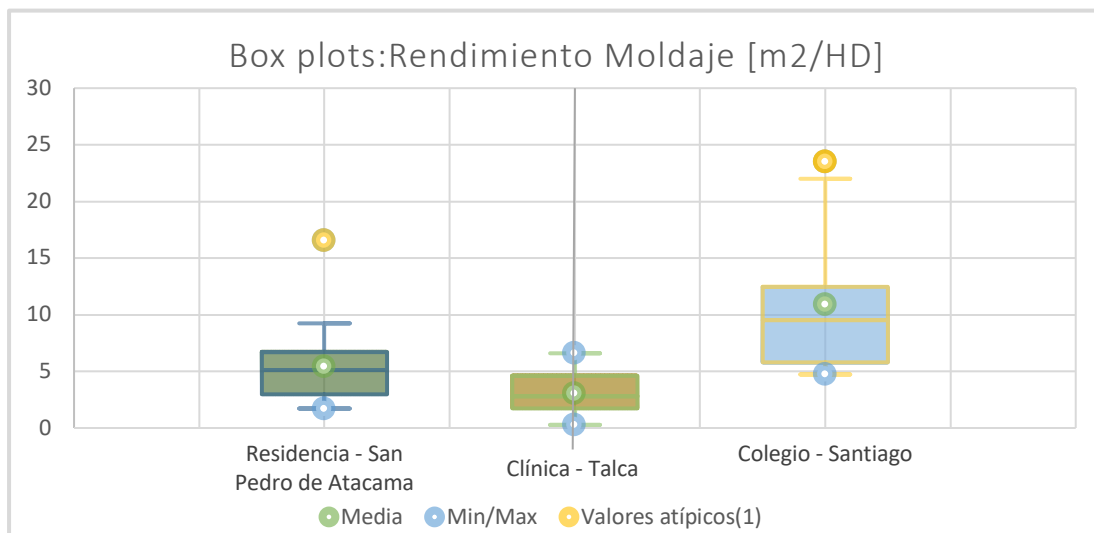


Gráfico 13: Box Plot Rendimiento Actividad de Moldaje.  
Referencia: Elaboración propia.

Observando el gráfico 13 se puede apreciar lo siguiente:

- La obra “Residencia – San Pedro de Atacama” indica que la mediana se comporta como buena representante de su muestra, pero al ver la asimetría de la dispersión se posee una primera referencia de que esta muestra no es normal.
- La obra “Clínica - Talca” posee los datos más bajos en comparación a las otras, lo que se confirma con el promedio de la tabla 4. Su distribución se ve simétrica y sus datos con poca variación lo que puede indicar una distribución normal.
- La obra “Colegio - Santiago” Indica una mayor magnitud en la forma de su caja indicando que los datos centrales se encuentran más separados, su mediana es mayor que en los otros dos casos, al igual que su promedio revisado en la tabla 4. Su mayor dispersión se encuentra en los datos magnitud, acusando que la muestra seguramente no posee una forma normal.

### 5.1.3 Hormigón

La variable rendimiento medida en este caso corresponde a la cantidad de hormigón en metros cúbicos emplazados por un hombre en un día laboral, esta variable posee las dimensiones [m<sup>3</sup>/HD].

Obras	N	Promedio [m <sup>3</sup> /HD]	Desviación Estándar
Residencia – San Pedro de Atacama	30	4,15	1,96
Clínica - Talca	27	2,24	1,15
Colegio - Santiago	23	14,95	6,85

Tabla 5: Resumen Estadístico Hormigón.  
Referencia: Elaboración propia.

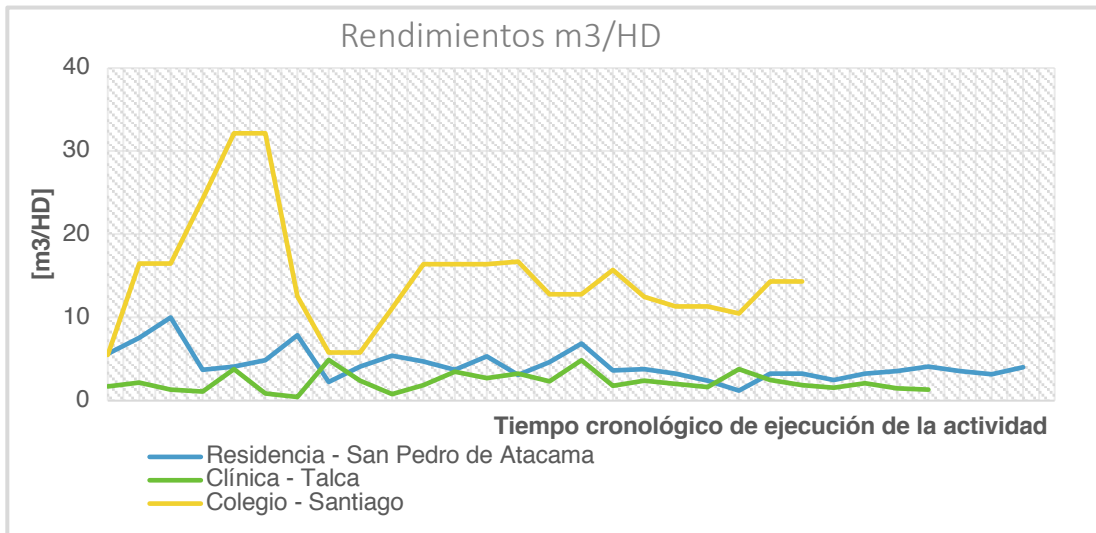


Gráfico 14: Rendimiento Obras, Actividad Hormigón.  
Referencia: Elaboración propia.

Al igual que en el análisis de las otras dos actividades se observa que para la actividad de hormigonado la obra “Colegio - Santiago” nuevamente posee la productividad más alta. Pero esta productividad posee solo un peak, manteniéndose menos variable conforme avanza, por lo tanto, más adelante es necesario estudiar si esta diferencia es significativa con respecto a las otras dos obras.

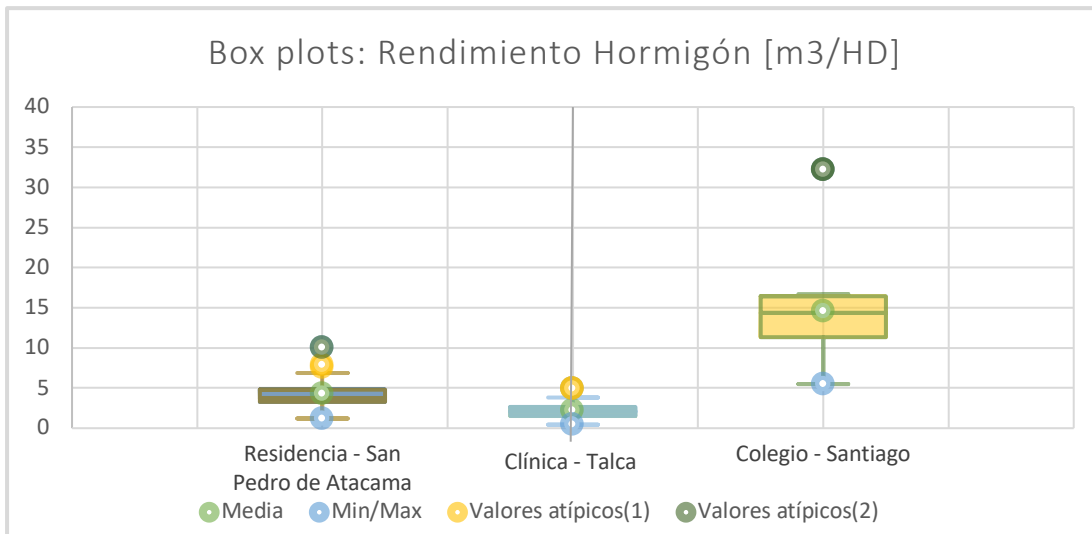


Gráfico 15: Box Plot: Rendimiento actividad de Hormigonado.  
Referencia: Elaboración propia.

En el gráfico 15 se puede desprender las siguientes apreciaciones:

- La obra “Residencia – San Pedro de Atacama” posee una dispersión pequeña en sus datos centrales, y bastante simétrica en los datos de extremo, lo que puede indicar un acercamiento a una forma normal, y que la mediana sería un buen representante de los datos.

- La obra “Clínica - Talca” es la de menor magnitud, casi la totalidad de sus datos se encuentran bajo la muestra de la obra “Colegio - Santiago” pero su dispersión es bastante menor a las demás, además de su simetría lo cual es una buena señal de uno de representantes para esta muestra.
- La muestra de la obra “Colegio - Santiago” es la de mayor magnitud, con una mediana notoriamente más alta que las obras restantes, al igual que su variabilidad, es mucho más grande que sus similares, esto indica que los datos se ubican en una franja muy amplia, y por lo tanto utilizar solo un valor puede que no sea la mejor representación de ellos.

## 5.2 Análisis de Avances

Otra forma de identificar si la productividad corresponde o no a lo esperado, es estudiando las curvas de avance acumulado, sobreponiendo la real con la teórica, para identificar las diferencias entre lo avanzado y lo que se debería haber avanzado en el mismo en un determinado momento.

En las curvas de contraste de avances, también se puede identificar en qué momento cambió la productividad para generar un desfase importante entre las curvas, lo cual ayuda a identificar de mejor manera el factor que pudo haber intervenido en tal variación.

Cabe destacar que el hecho de que la curva real no sea concordante a la curva teórica no siempre implica una baja productividad, sino que también puede acusar una mala programación de la actividad, por esta razón es importante identificar cual es la razón de la diferencia entre ambas curvas y atacar de manera responsable y oportuna tal causa.

A continuación, se exponen las curvas contrastadas de avances acumulados teóricos versus los reales de cada actividad en estudio, para poder aportar más información al estudio efectuado.

### 5.2.1 Enfierradura

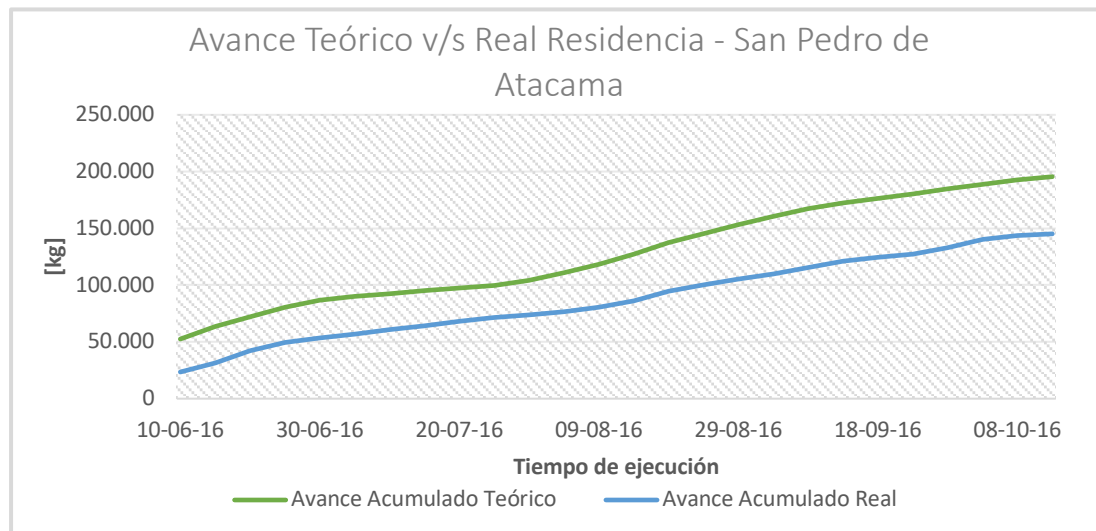


Gráfico 16: Avance Teórico Vs Real. Obra “Residencia – San Pedro de Atacama”. Actividad Enfierradura. Referencia: Elaboración propia.

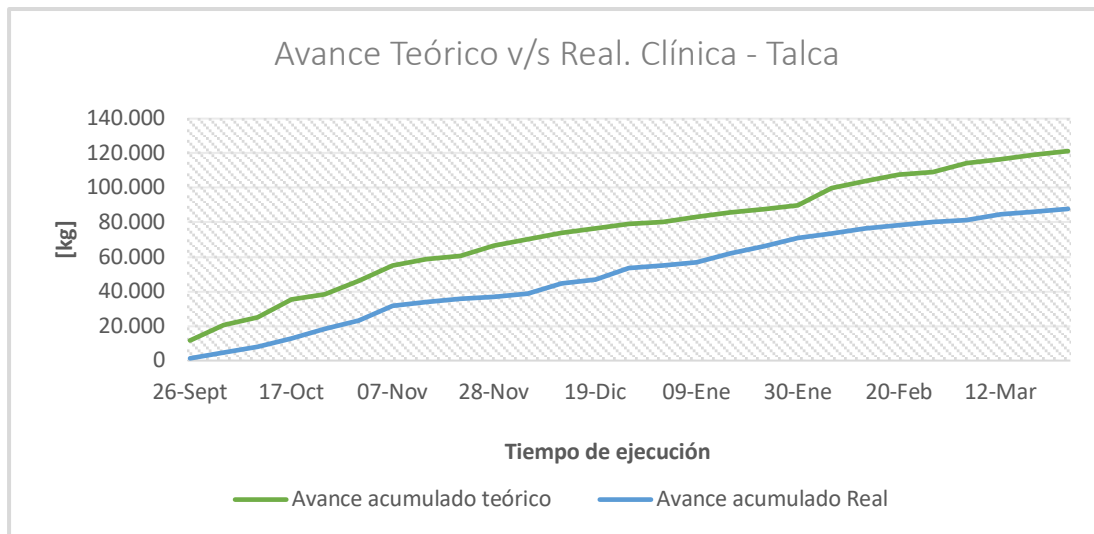


Gráfico 17: Avance teórico v/s Real. "Clínica – Talca". Actividad Enfierradura.  
Referencia: Elaboración propia.

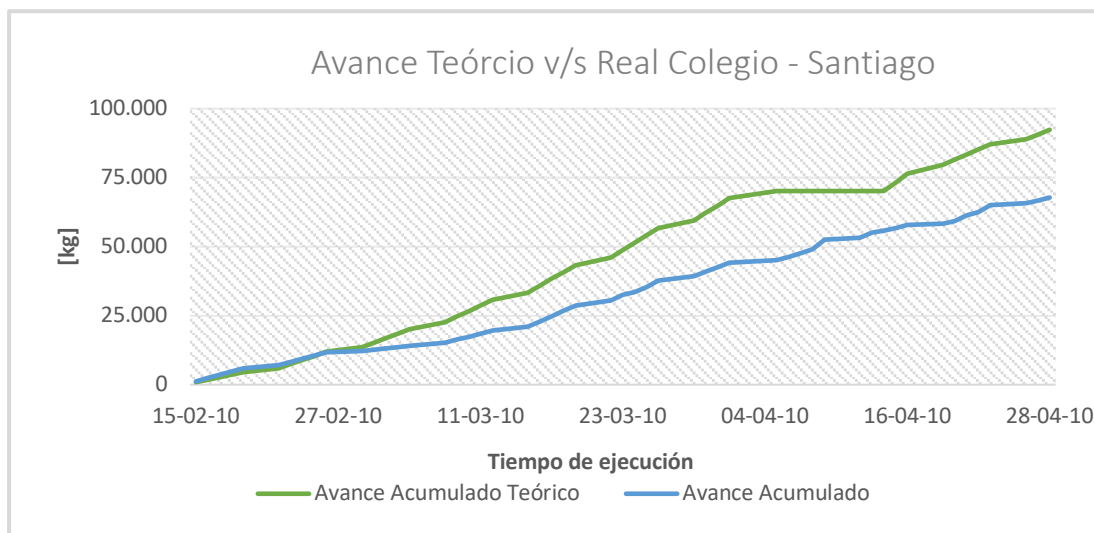


Gráfico 18: Avance teórico v/s Real. "Colegio – Santiago". Actividad Enfierradura.  
Referencia: Elaboración propia.

En los gráficos anteriores se puede observar de manera esquemática las diferencias entre los avances teóricos y reales. Sin embargo, no es clara la diferencia real al mirar los gráficos, a continuación se presentan las diferencias máximas entre estas dos curvas:

$\Delta$  Residencia – San Pedro de Atacama = 53.029 [kg]

$\Delta$  Clínica - Talca = 33.457 [kg]

$\Delta$  Colegio - Santiago= 24.862 [kg]

De toda la información expuesta se puede desprender que la obra con menor variación corresponde a “*Colegio - Santiago*”, lo que puede significar una buena productividad alcanzada para lograr las metas propuestas, o una buena proyección de los avances. Se puede observar además que todas las curvas de avances reales (en color verde) van creciendo de manera paulatina, sin ningún decaimiento importante debido a algún contratiempo o cese de trabajo.

Con esta información ya se puede obtener el índice de productividad (FP) expuesto en la ecuación (3). Para obtener este factor se debe trabajar con un valor de productividad planeada y una real, puesto que este análisis posee un valor para cada medición, se realiza la obtención de todos los índices y se obtiene un promedio de aquellos. Este cálculo se expone en el ANEXO A.

$$FP_{Residencia} = 8,56$$

$$FP_{Clínica} = 1,87$$

$$FP_{Colegio} = 1,653$$

El factor de productividad indica qué tan cercana se encuentra la productividad real con respecto a la productividad planeada. Tal como se explica en capítulos anteriores, el índice será óptimo cuando se acerca a 1.

Por tanto, se puede desprender que la obra *Residencia – San Pedro de Atacama* es la más alejada del óptimo esperado, siendo la productividad planeada mucho mayor a la real. Continuando con el mismo análisis se puede decir que la obra *Colegio - Santiago*, es la más cercana a un índice óptimo.

### 5.2.2 Moldaje

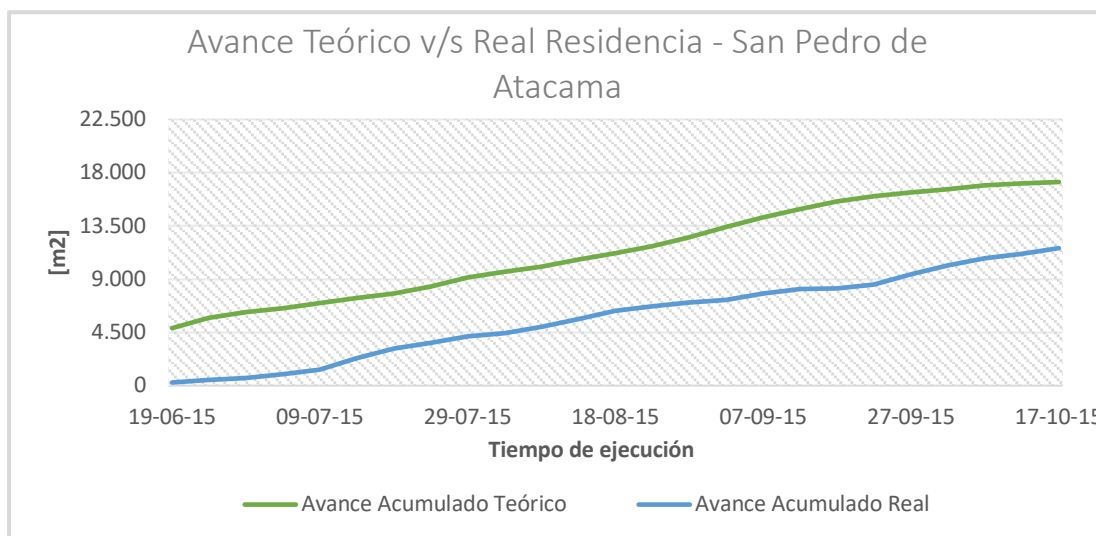


Gráfico 19: Avance teórico v/s Real. Obra “*Residencia – San Pedro de Atacama*”. Actividad Moldaje. Referencia: Elaboración propia.

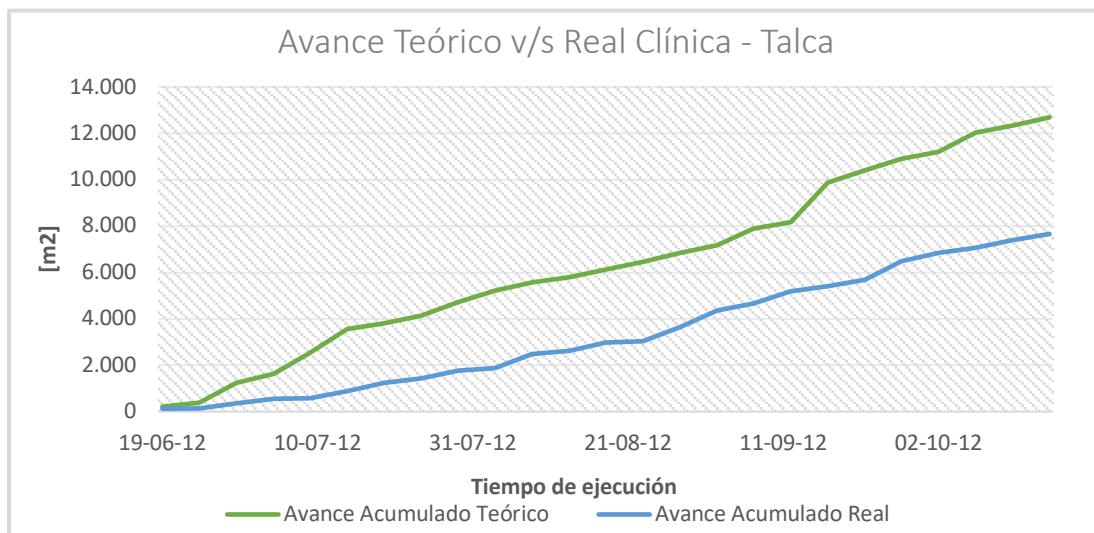


Gráfico 20: Avance teórico v/s Real. Obra "Clínica – Talca". Actividad Moldaje.  
Referencia: Elaboración propia.

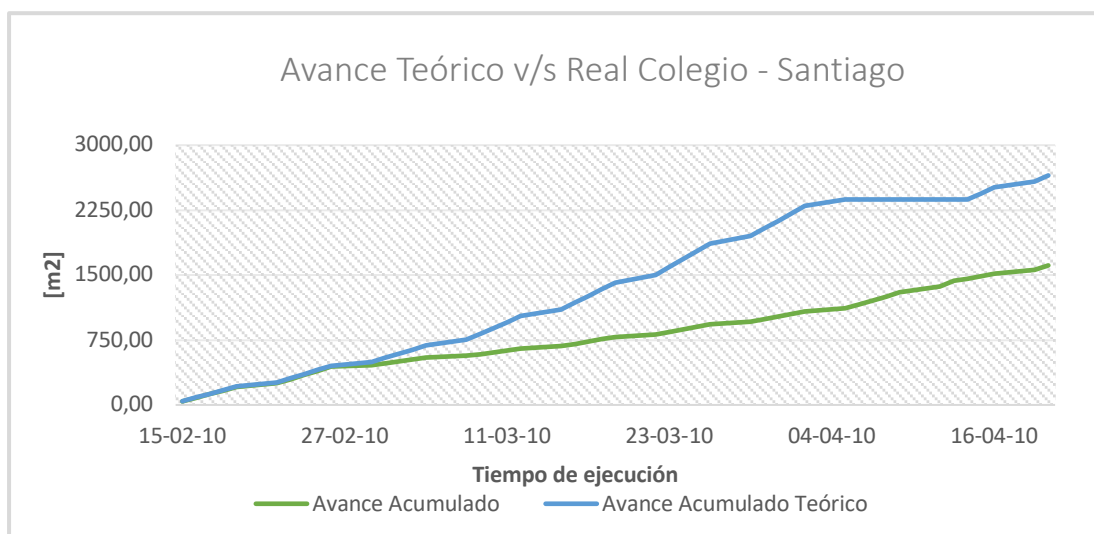


Gráfico 21: Avance teórico v/s Real. Obra "Colegio – Santiago". Actividad Moldaje.  
Referencia: Elaboración propia.

Al igual que en el caso de enfierradura se puede apreciar las variaciones gráficas de avances en cada obra, donde se extraen los siguientes datos:

$\Delta$  Residencia – San Pedro de Atacama = 7.440,21 [ $m^2$ ]

$\Delta$  Clínica - Talca = 5.027,16 [ $m^2$ ]

$\Delta$  Colegio - Santiago = 1.250,5 [ $m^2$ ]

Se puede observar una vez más que la obra con menos variación en este caso fue la obra "Colegio - Santiago" lo que puede generar una buena ejecución total de la obra en cuanto a plazos y costos.

Además, se obtienen los índices de productividad para cada obra:

$FP_{Residencia} = 13,4$

$FP_{Clínica} = 3,608$

$FP_{Colegio} = 1,96$

Similar a la actividad de enfierradura la obra con un índice más alejado del óptimo fue “Residencia – San Pedro de Atacama” y la que mejor se comportó con respecto a la productividad lograda fue la obra “Colegio - Santiago”

### 5.2.3 Hormigón

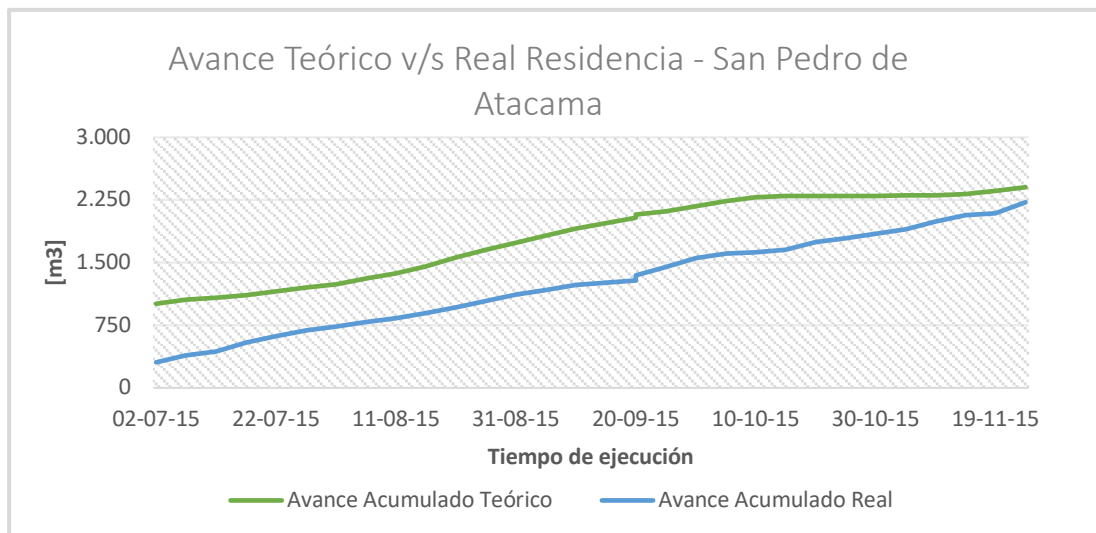


Gráfico 22: Avance teórico v/s real. Obra “Residencia – San Pedro de Atacama”. Actividad de hormigonado. Referencia: Elaboración propia.

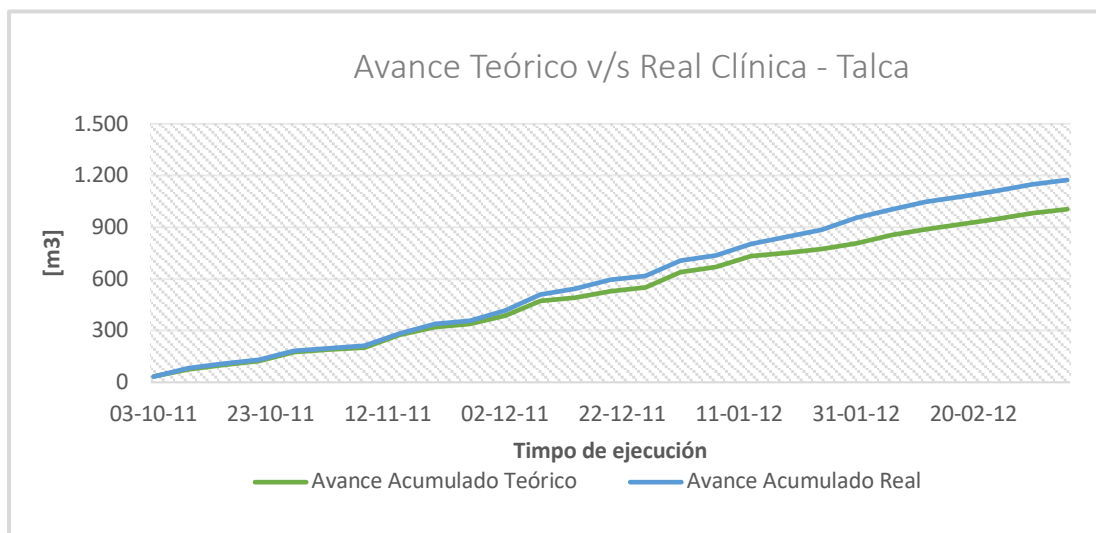


Gráfico 23: Avance Teórico v/s Real. Obra “Clínica – Talca”. Actividad de Hormigonado. Referencia: Elaboración propia.

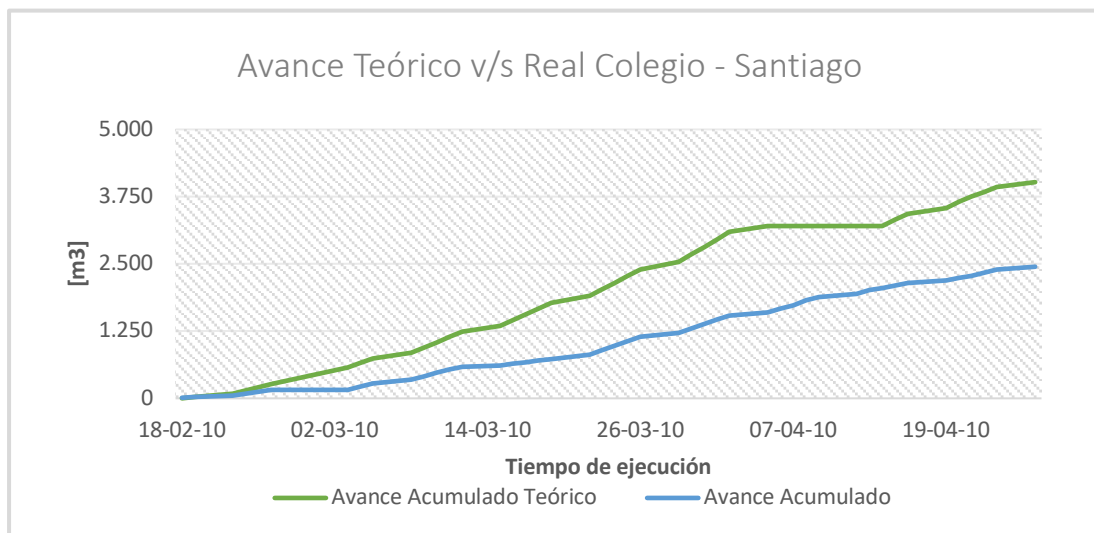


Gráfico 24: Avance teórico v/s real. Obra "Colegio – Santiago". Actividad de hormigonado.  
Referencia: Elaboración propia.

Al estudiar los gráficos se puede observar que la obra con mayor variación entre el dato teórico y el real fue la obra "Colegio - Santiago". Para tener una mejor precisión de esta conjetura, se exponen los valores numéricos de las variaciones:

$$\Delta \text{Residencia – San Pedro de Atacama} = 754,05 \text{ [m}^3\text{]}$$

$$\Delta \text{Clínica - Talca} = -169,69 \text{ [m}^3\text{]}$$

$$\Delta \text{Colegio - Santiago} = 1.606,60 \text{ [m}^3\text{]}$$

Según lo último expuesto podemos concluir que efectivamente la obra con mayores atrasos fue "Colegio - Santiago", debido a diversos factores que se estudiarán más adelante dentro de este capítulo. Además, cabe mencionar que la obra "Clínica - Talca", tuvo una variación negativa, es decir que en avance de esta actividad fue mayor al programado para las fechas en estudio, lo que puede aportar a futuro una merma en algún atraso extra de este proyecto, en las actividades de enfierradura y moldaje, por ejemplo.

Con esta información se desprenden los valores de índice de productividad:

$$FP_{\text{Residencia}} = 5,45$$

$$FP_{\text{Clínica}} = 0,866$$

$$FP_{\text{Colegio}} = 1,649$$

Una vez más se puede observar la baja productividad con referencia a su planificación de la obra "Residencia – San Pedro de Atacama", sin embargo en esta actividad la obra con mejores resultados fue la "Clínica – Talca" al obtener un valor cercano a 1, incluso menor, denotando que su productividad real fue mayor que la esperada.

### 5.3 Análisis de comparación muestral

Este análisis busca evaluar si las diferencias observadas entre las muestras son estadísticamente significativas. Este análisis busca responder las hipótesis planteadas al principio de este estudio.

Para comenzar con esta parte del estudio es necesario clasificar a que familia pertenecen y así poder optar al método de análisis más adecuado.

#### 5.3.1 Comprobación de requisitos paramétricos

Las dos grandes familias de técnicas estadísticas se pueden clasificar como: pruebas paramétricas y las no paramétricas, las cuales se identifican según cumplan los siguientes requerimientos<sup>14</sup>:

- Distribución Normal de variables
- Homocedasticidad (Uniformidad de varianza)
- Escala de medida métrica
- Independencia

Para poder identificar a que grupo pertenecen las muestras en estudio es necesario comprobar los requisitos paramétricos. De antemano se sabe que la variable es de categoría métrica e independientes entre sí, puesto que la variable es de naturaleza cuantitativa y continua, además de no verse afectada por otra variable dentro del estudio, ya que todas las muestras fueron medidas en diferentes momentos temporales. Dicho esto, se analizará la normalidad de la muestra y sus respectivas varianzas.

Se estudiará la normalidad de manera gráfica para poder tener una aproximación del comportamiento de la muestra e identificar un test de normalidad apropiado.

Dentro de todas las formas gráficas de analizar, si una muestra se acerca a una distribución normal, se escoge el gráfico Q-Q, ya que es de fácil lectura, y acusa que tan alejada se podría encontrar la muestra de su normalidad.

El gráfico Normal Probability Plot o gráfico Q-Q empareja cada valor observado con su valor esperado, este último precedente de una distribución normal. Esto se traduce a que si la muestra es extraída de una población normal ambos valores se encontrarán en la misma línea recta.

Para evaluar la normalidad de las muestras se utilizará un test de prueba estadística que no requiere de suposiciones previas acerca de la distribución de datos, puesto que no sabemos el comportamiento de estas.

Entre los numerosos métodos usados para probar la normalidad de un conjunto de datos, destaca la prueba de Shapiro-Wilk por ser una de las más sencillas y potentes (la única

---

<sup>14</sup> Rafael Álvares Cáceres. Estadística aplicada a las ciencias de la salud. España. 2007. 996 p.

condición es que el tamaño de la muestra debe ser igual o menor a 50, la cual se cumple en todos los casos muestreados), y tal como lo menciona Rafael Álvarez Cáceres en la página 949 de su libro “Estadística aplicada a las ciencias de la salud” es un buen método para muestras pequeñas.

Para comenzar con el proceso de análisis de normalidad se debe proponer una hipótesis para el caso correspondiente:

- $H_0$ : La variable aleatoria no tiene una distribución Normal.
- $H_1$ : La variable aleatoria tiene una distribución Normal.

Se realiza el cálculo del estadístico de prueba  $W_c$  para cada muestra de acuerdo a la siguiente fórmula.

*Ecuación 6: Estadístico de prueba Shapiro-Wilks.*

$$W_c = \frac{(\sum_{i=1}^k a_i [X_{(n-i+1)} - X_i])^2}{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}$$

Una vez obtenidos los estadísticos de prueba para cada muestra es necesario conocer la zona de aceptación para  $H_0$ , la cual está formada por todos los valores del estadístico de prueba  $W_c$  menores a los valores esperados o tabulados  $W(1-\alpha;n)$ . La tabla de Niveles de significación para el contraste de Shapiro-Wilks se encuentra en el Anexo B.1.

A continuación, se exponen los gráficos Q-Q e histogramas asociados a cada muestra junto con el resultado del test de normalidad Shapiro-Wilks considerando un nivel de confianza de 95%:

### Enfierradura

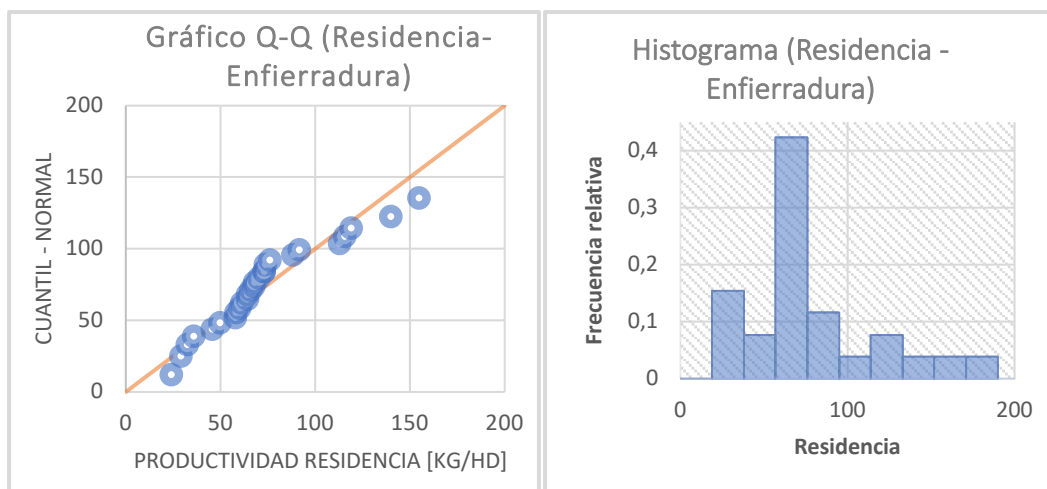


Gráfico 25: Q-Q Plot e Histograma Obra “Residencia – San Pedro de Atacama”. Actividad Enfierradura. Referencia: Elaboración propia.

Resultados test Shapiro-Wilks para la obra “Residencia – San Pedro de Atacama”:

W = 0,9227

Valor p (bilateral) = 0,0459

$\alpha = 0,05$

De lo cual se traduce a que  $H_0$  se rechaza, aceptando la hipótesis alterna, lo que quiere decir, que la muestra de productividad de la actividad de enfierradura de la obra “Residencia – San Pedro de Atacama” no posee una distribución Normal. Asumiendo un riesgo de error tipo  $\alpha$  de 4,59%.

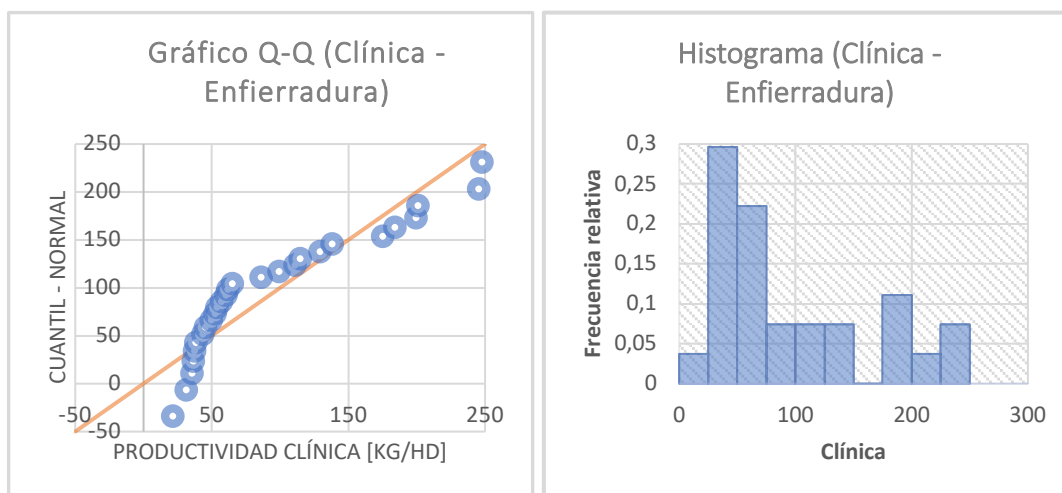


Gráfico 26: Q-Q Plot e Histograma. Obra “Clínica – Talca”. Actividad Enfierradura.  
Referencia: Elaboración propia.

Resultados test Shapiro-Wilks para la Obra “Clínica - Talca”:

W = 0,85139

Valor p (bilateral) = 0,00123

$\alpha = 0,05$

En base a los resultados se determina rechazar la hipótesis nula, concluyendo que la muestra obtenida de la actividad de enfierradura de la obra “Clínica - Talca” no posee una forma normal. Asumiendo un riesgo de error tipo  $\alpha$  de 0,12%.

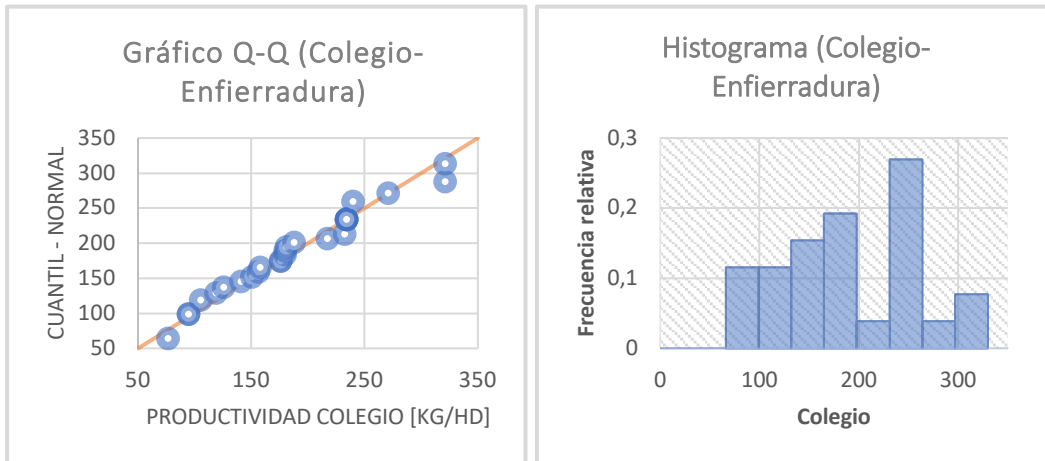


Gráfico 27: Q-Q Plot e Histograma. Obra "Colegio – Santiago". Actividad enfierradura.  
Referencia: Elaboración propia.

Resultados test Shapiro-Wilks para la Obra "Colegio - Santiago":

$W = 0,95942$

Valor p (bilateral) = 0,35840

$\alpha = 0,05$

En base a los resultados no se puede rechazar la hipótesis nula, por lo que se puede concluir que la muestra de la obra "Colegio - Santiago" obedece una distribución normal. Asumiendo un riesgo de error tipo  $\alpha$  de 35,84%.

### Moldaje

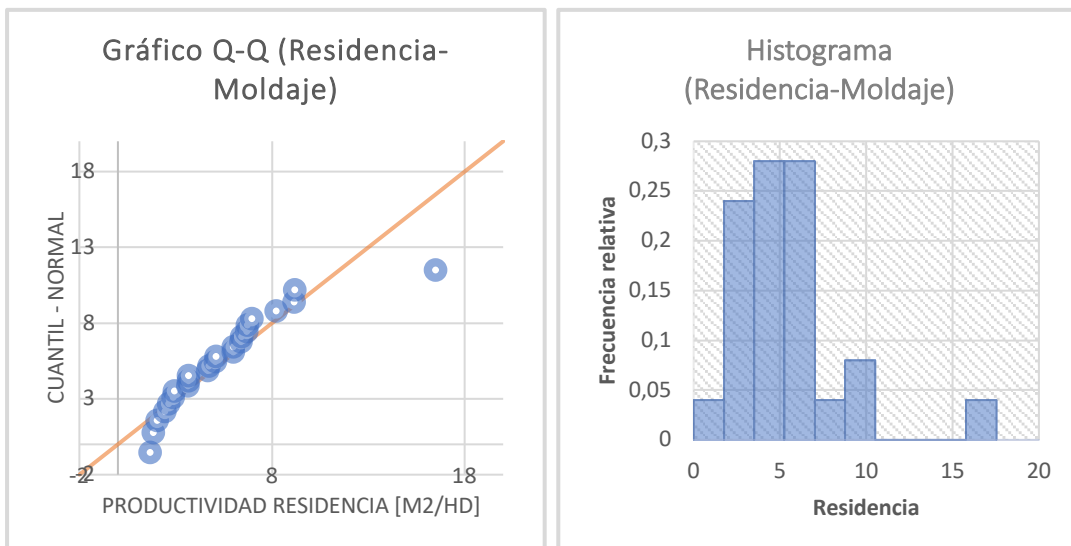


Gráfico 28: Q-Q Plot e Histograma. Obra "Residencia – San Pedro de Atacama". Actividad moldaje.  
Referencia: Elaboración propia.

Resultados test Shapiro-Wilks para la obra “Residencia – San Pedro de Atacama”:

W = 0,8540

Valor p (bilateral) = 0,0021

$\alpha = 0,05$

De acuerdo a los resultados se debe rechazar la hipótesis nula. Asumiendo un riesgo de caer en el error tipo  $\alpha$  de 0,21%.

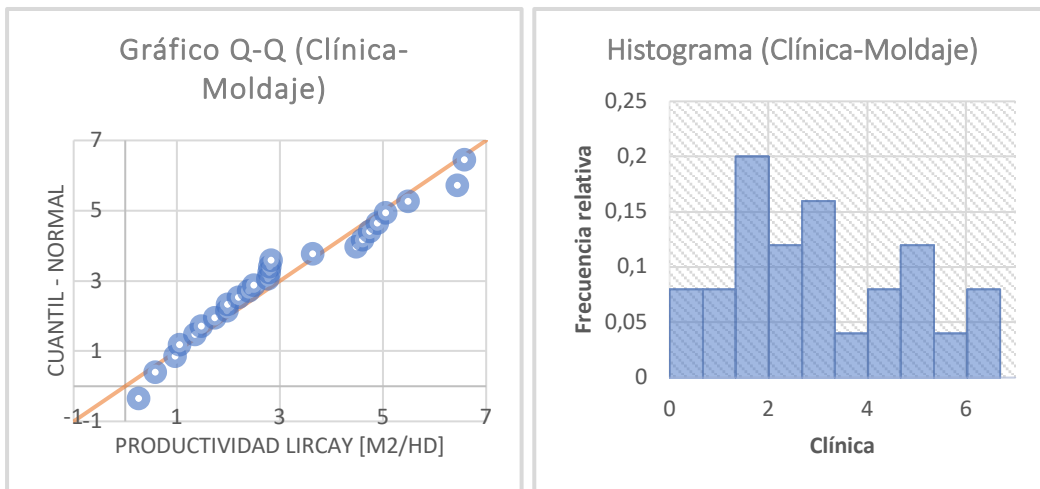


Gráfico 29: Q-Q Plot e Histograma. Obra “Clínica – Talca”. Actividad de Moldaje.  
Referencia: Elaboración propia.

Resultados test Shapiro-Wilks para la Obra “Clínica - Talca”:

W = 0,9456

Valor p (bilateral) = 0,19919

$\alpha = 0,05$

De acuerdo a los resultados no se puede rechazar la hipótesis nula. Asumiendo un riesgo de error tipo  $\alpha$  de 19,92%.

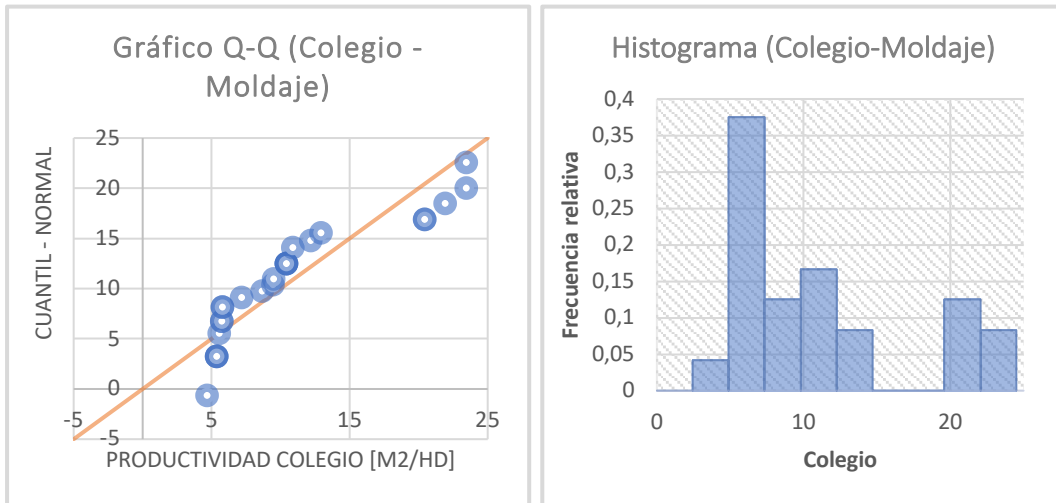


Gráfico 30: Q-Q Plot e Histograma. Obra "Colegio – Santiago". Actividad Moldaje.  
Referencia: Elaboración propia.

Resultados test Shapiro-Wilks para la Obra "Colegio - Santiago":

$W = 0,81297$

Valor p (bilateral) = 0,000377

$\alpha = 0,05$

Por lo anterior se procede a rechazar la hipótesis nula, dando paso a aceptar la hipótesis alterna. Asumiendo un error tipo  $\alpha$  de 0,04%.

### Hormigón

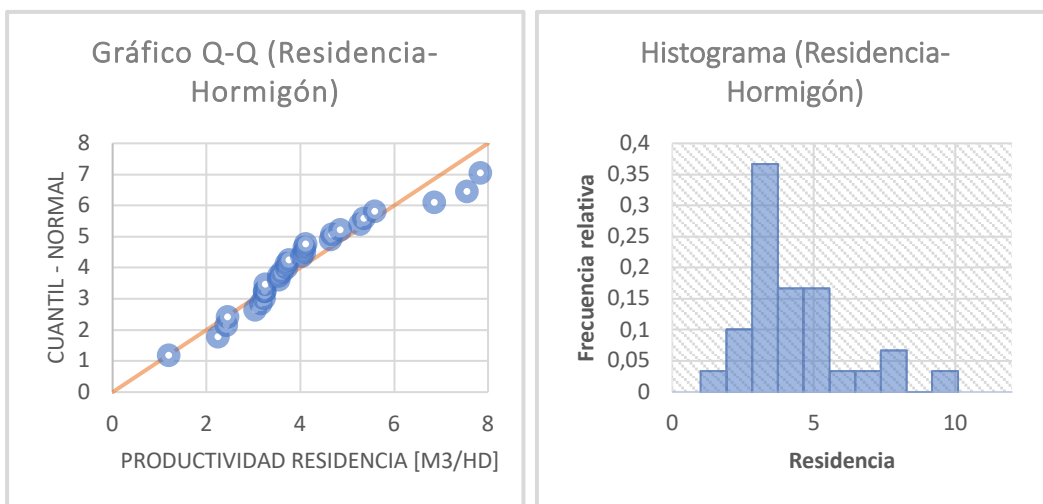


Gráfico 31: Q-Q Plot e Histograma. Obra "Residencia – San Pedro de Atacama". Actividad Hormigonado.  
Referencia: Elaboración propia.

Resultados test Shapiro-Wilks para la obra "Residencia – San Pedro de Atacama":

W = 0,9259

Valor p (bilateral) = 0,0431

$\alpha = 0,05$

Debido a los resultados se procede a rechazar la hipótesis nula aceptando la hipótesis alterna. Asumiendo un error tipo  $\alpha$  de 4,31%.

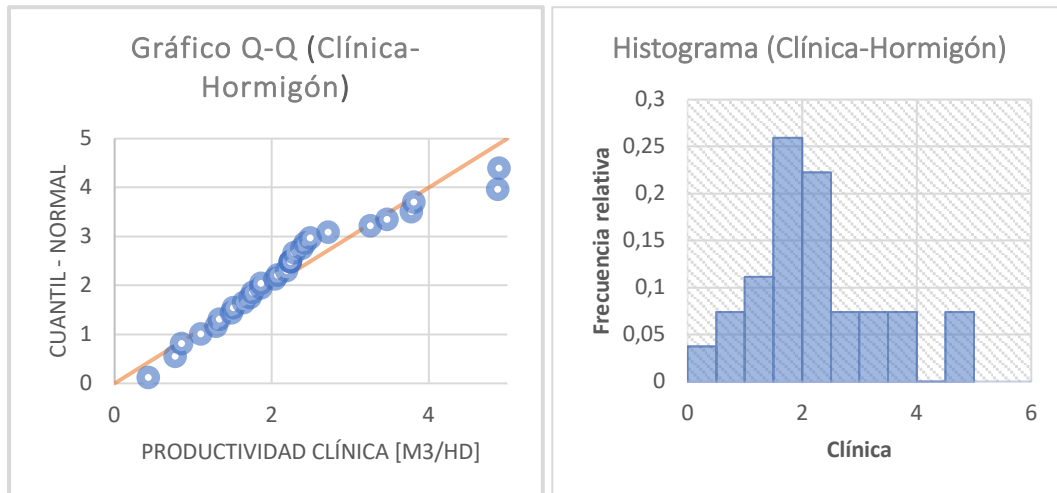


Gráfico 32: Q-Q Plot e Histograma. Obra "Clínica – Talca". Actividad de hormigonado.  
Referencia: Elaboración propia.

Resultados test Shapiro-Wilks para la Obra "Clínica - Talca":

W = 0,9306

Valor p (bilateral) = 0,0571

$\alpha = 0,05$

Los resultados indican que no se puede rechazar la hipótesis nula. Asumiendo un error tipo  $\alpha$  de 5,71%.

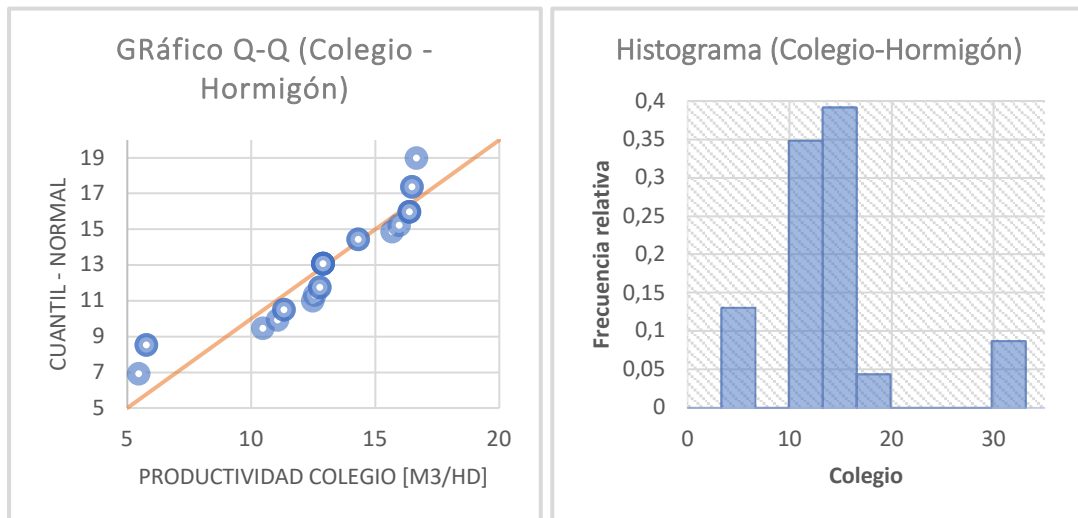


Gráfico 33: Q-Q Plot e Histograma. Obra “Colegio – Santiago”. Actividad Hormigonado.  
Referencia: Elaboración propia.

Resultados test Shapiro-Wilks para la Obra “Colegio - Santiago”:

$W = 0,8485$

Valor p (bilateral) = 0,0007

$\alpha = 0,05$

Según los resultados arrojados se debe rechazar la hipótesis nula y aceptar la hipótesis alterna. Asumiendo un riesgo de error tipo  $\alpha$  de 0,07%.

Una vez calculados todos los test de normalidad, se realiza una tabla resumen para ordenar los resultados de manera visual, utilizando el método Shapiro- Wilks:

OBRAS/ACTIVIDAD	ENFIERRADURA	MOLDAJE	HORMIGÓN
Residencia	NO NORMAL	NO NORMAL	NO NORMAL
Clínica	NO NORMAL	NORMAL	NORMAL
Colegio	NORMAL	NO NORMAL	NO NORMAL

Tabla 6: Prueba de Normalidad de cada muestra.  
Referencia: Elaboración propia.

De esta manera se puede comprobar que efectivamente no todas las muestras se comportan de manera normal, y esto es una de las condiciones que deben cumplir para poder ejecutar pruebas paramétricas.

Sin embargo, aún queda un requerimiento más por resolver antes de decidir que metodología utilizar, la igualdad de varianzas.

Para identificar si las varianzas son significativamente diferentes se utilizará la prueba de Levene, ya que esta es la que permite comparar más de dos muestras y tal como lo expresa Juan Carlos Correa en la Revista Colombiana de Estadística, es una prueba poco sensible a la desviación de la normalidad, lo cual significa que será menos probable rechazar una hipótesis

de igualdad de varianza solo porque las distribuciones de las poblaciones muestreadas no son normales<sup>15</sup>. Esta prueba se llevará a cabo con el complemento del programa Excel de Office, XLSTAT.

Esta prueba, al igual que el test de normalidad, busca descartar o aceptar la hipótesis nula. La cual indica que las varianzas de las muestras estudiadas son iguales. La hipótesis alterna indica que al menos una muestra no posee homocedasticidad.

El test de Levene admite dos posibilidades para ser ejecutado, uno basado en la media y la otra opción es baso en la mediana. Normalmente los resultados son bastantes similares, pero se recomienda el uso del método basado en la mediana puesto que la media se ve más afectada cuando existen valores extremos o la muestra es desigual.

A continuación, se exponen los resultados obtenidos del test de Levene considerando un 95% de confianza para cada actividad estudiada con el riesgo tipo  $\alpha$  asociado.

Actividad	P- valor	Error tipo $\alpha$	Resultado
Enfierradura	0,013	1,30%	Varianzas distintas
Moldaje	0,001	0,10%	Varianzas distintas
Hormigón	<0,0001	0,01%	Varianzas distintas

Tabla 7: Resultados test de homocedasticidad.

Referencia: Elaboración propia.

Considerando todo lo anterior se establece que las pruebas idóneas para realizar este análisis son las de carácter no paramétrico por las razones ya expuestas.

### 5.3.2 Análisis comparativo

La siguiente tabla muestra las pruebas más utilizadas en estadística. Además, sirve como guía en la elección de la prueba más adecuada de acuerdo a la pregunta de investigación y a los datos. La tabla fue confeccionada bajo elaboración propia, basada en la tabla expuesta en el artículo “Ortodoxia y Fisuras en el diseño y ejecución de estudios descriptivos” de la revista MED<sup>16</sup>.

<sup>15</sup> Revista Colombiana de Estadística. Medellín, Colombia. (29). 2006

<sup>16</sup> CARDONA Arias; Jaiberth Antonio. Ortodoxia y fisuras en el diseño y ejecución de estudios descriptivos. Revista MED. (23):40-51. 2015.

Familia	Pregunta	Pruebas paramétricas	Equivalente no paramétrico
<b>Comparar medias o rangos medios (medidas)</b>	Comparar una media teórica con una observada	Prueba t para una muestra	
	Comparar dos medidas observadas (muestra independiente)	Prueba t dos muestras independientes	Prueba de Mann-Whitney.
	Probar la equivalencia entre dos muestras	Prueba de equivalencia	
	Comparar varias medidas observadas (muestras independientes)	ANOVA	Prueba de Kruskal-Wallis; prueba de Mood
	Comparar dos medidas observadas (muestras dependientes)	Prueba t para dos muestras relacionadas	Prueba de Wilcoxon
	Comparar varias medidas (muestras dependientes)	ANOVA de medidas repetidas, modelos mixtos	Prueba de Friedman Prueba de Durbin, Skillings-Mack Prueba de Page

Tabla 8: Guía de decisión de prueba.  
Referencia: Elaboración propia.

Al observar la tabla adjunta se puede determinar que la prueba que mejor se ajusta a las variables en estudio es la prueba no paramétrica Kruskal-Wallis. Esta prueba es análoga a ANOVA (método utilizado para contrastar varios grupos de variables cuantitativas) pero no requiere que las muestras tengan un comportamiento normal<sup>17</sup>.

Se utilizará la prueba de Kruskal-Wallis y no la de Mood, ya que esta última posee menos potencia.

A continuación, se plantea la hipótesis utilizada en el método de K-W de manera genérica para cada uno de los tres casos a tratar, Enfierradura, Moldaje, Hormigón.

- H0: La productividad laboral (mediana) es idéntica en las 3 obras para realizar una actividad en particular. (Las muestras vienen de la misma población)
- H1: Por lo menos una de las obras no posee la misma productividad (mediana) en su desempeño laboral para una actividad en particular. (Las muestras no vienen de la misma población).

Conociendo esta información se da paso a exponer los resultados del análisis de datos con el método Kruskal-Wallis, utilizando un 95% de confianza. En el ANEXO C se puede revisar de manera detallada la obtención del valor estadístico H, el cual se ejecutó de forma manual y luego se comprueba con el complemento estadístico XLSTAT<sup>18</sup>.

<sup>17</sup> Universidad de Talca. Apuntes. Capítulo 12: Métodos no Paramétricos [En línea]. <<http://ftp.otalca.cl/profesores/gicaza/Apuntes%20PDF/Apuntes%20Cap%2012%20Metodos%20no%20parametricos.pdf>>. [Consulta: 25 de abril 2017].

<sup>18</sup> XLSTAT (herramienta estadística), Tutoriales. [en línea]. <[https://help.xlstat.com/customer/es/portal/articles?b\\_id=9283](https://help.xlstat.com/customer/es/portal/articles?b_id=9283)>. [mayo-octubre 2017].

El método de Kruskal-Wallis en el complemento XLSTAT exige ciertos parámetros para realizar el análisis, los cuales se mencionan a continuación:

- Identificar el tipo de método de comparaciones múltiples por pares, se selecciona el método de Dunn.
- Nivel de significación, se establece el 5%, puesto que es el complemento del nivel de confianza.
- Da la opción de eliminar datos perdidos, de ignorarlos o de reemplazarlos por el valor de media de cada muestra. Se escoge ignorar los valores perdidos, puesto que si se reemplazan por la media podría generar algún desfase en los resultados ya que la media no es el mejor representante como ya se ha explicado anteriormente.
- Se activa el cuadro de corrección de Benferroni, para mantener la probabilidad de error tipo  $\alpha$  debajo del 5%.

### Enfierradura

Valor H = 31,337

Valor tabulado= 5,991

p-valor = <0,0001

De acuerdo a los valores obtenidos, se procede a rechazar la hipótesis nula, y aceptar la hipótesis alternativa, con un riesgo de error tipo  $\alpha$  inferior al 0,01%. Lo que significa que al menos una de las muestras posee una productividad laboral significativamente diferente en la actividad de enfierradura. Pero lo interesante es saber cuál de las obras es la que arroja esa diferencia significativa.

Para este nuevo análisis se utilizará el método de Dunn debido a la compatibilidad que posee con el test de el Kruskal-Wallis<sup>19</sup>. El método fue explicado en el capítulo 3: Marco Metodológico. A continuación, se expone los resultados arrojados por este método:

Muestra	Frecuencia	Promedios	Media de rangos	Grupos	
ALMA	25	73,505	26,920	A	
Lircay	27	97,549	31,778	A	
Colegio	26	188,641	59,615		B

Tabla 9: Resultados análisis Dunn, Actividad Enfierradura.

Referencia: Elaboración Propia.

Los resultados expuestos en la tabla 9 revelan que la diferencia de las muestras correspondientes al grupo denominado A son estadísticamente significativas con los grupos considerados como B. Por tanto, si en un primer momento la prueba de Kruskal-Wallis ha

---

<sup>19</sup> RIAL Boubeta, Antonio y VARELA Mallou Jesús. Estadística práctica para la investigación en ciencias de la Salud. España. Netbiblo. 2008. 344p.

conducido a este análisis al rechazo de  $H_0$ , el contraste múltiple de Dunn informa de que para un nivel de confianza  $1-\alpha = 0,95$  la obra "*Residencia – San Pedro de Atacama*" difiere de la obra del "*Colegio - Santiago*", aunque no respecto a la obra "*Clínica - Talca*". Por su Parte, la obra "*Clínica - Talca*" se comportaría de la misma manera que "*Residencia – San Pedro de Atacama*". Mirando hacia atrás en los datos la obra "*Colegio - Santiago*" es claramente más productiva en la labor de enfierradura que las otras dos en cuestión.

Pues bien, una vez que se conoce cuál de las obras es la que posee una diferencia significativa de productividad laboral en esta actividad es posible identificar los factores que posiblemente fueron los responsables de estos resultados, basados en los factores considerados como preponderantes y representativos en esta actividad.

A continuación, se analizan de manera puntual las conjeturas expuestas en el capítulo anterior:

- **Relativo a la ubicación Geográfica:** Efectivamente y tal como se esperaba la obra "*Residencia – San Pedro de Atacama*" fue la de menor rendimiento en la actividad de Enfierradura, debido al esfuerzo físico que deben llevar a cabo los trabajadores en condiciones climáticas extremas y el bajo oxígeno que se da a esa altura. No obstante, la obra "*Residencia – San Pedro de Atacama*" corresponde al mismo grupo de significación que la "*Clínica – Talca*". Adicionalmente la obra "*Colegio – Santiago*" fue la que produjo mayor productividad, debido a su ubicación centralizada donde se emplaza.
- **Estándar de calidad:** Este factor no es preponderante para esta actividad debido a que es un factor que viene establecido por la misma empresa.
- **Subcontrato de Obra gruesa:** La conjetura presentada en este punto indica que la obra "*Colegio – Santiago*" debiera presentar la mayor productividad laboral, debido a la mano de obra más especializada en esta actividad, lo cual fue acertado, esta obra presenta la mayor productividad y corresponde a un grupo de significancia diferente a las otras dos obras, por lo que se puede detectar que este punto es un fuerte factor en esta actividad.
- **Rango de Mano de Obra:** Este punto amerita una conclusión en función a dos resultados, los resultados del análisis comparativo y los avances de la actividad. Tal como se puede observar en los gráficos 16, 17 y 18 de avances la obra con menores atrasos en función a lo esperado es "*Colegio – Santiago*" la misma que presenta mejores tasas de productividad. En cuanto a la cantidad de trabajadores utilizados en cada una de las diferentes obras no es comparable, puesto que dependiendo del elemento a tratar es la conformación de cuadrilla utilizada. Sin embargo, en vez de este dato se utilizará el factor de productividad correspondiente. El lugar que el índice de productividad ( $PF = 1,653$ ) obtenido es el más cercano a uno que en las otras obras.
- **Meta de avance:** Si se considera como meta de avance los datos de avances planeados se puede observar que el índice de productividad de ALMA se aleja considerablemente de las otras dos obras, sin embargo, la obra que presenta diferencias significativas fue "*Colegio -Santiago*", por lo que este factor no sería imperante en el rendimiento de la actividad.
- **Nivel de complejidad de elemento:** Este factor no produjo un resultado negativo en la productividad de enfierradura debido a que el nivel de complejidad era similar.

- **Grado de Simetría:** Este factor no se considera como incidente en esta actividad puesto que dos de las obras que poseen esta característica fueron las que presentaron los mayores y menores rendimientos respectivamente.

El siguiente factor tiene un carácter distinto y por esa razón se presenta separado a los factores anteriores. La siguiente característica se considera diferente porque no será una comparación de la actividad de enfierradura en las tres diferentes obras, si no que será una comparación teórica v/s real.

**Tipología de Enfierradura:** en los tres casos la tipología de la enfierradura fue la misma (C&D + i), por lo tanto, no es un factor comparable entre obras, pero si se puede comparar con la teoría. Se considerará como valor teórico el expuesto en el capítulo 1: marco teórico, mencionado en el “Análisis de la productividad en las obras de edificación en Chile.

Obras	Rendimientos [kg/HH]
Valor teórico	34,70
Residencia – San Pedro de Atacama	9,188
Clínica - Talca	12,19
Colegio - Santiago	23,58

Tabla 10: Rendimientos Reales v/s Teórico CDT para Enfierradura.  
Referencia: Elaboración propia.

Los valores de cada obra corresponden al promedio de producción de cada una, y para que sean coincidentes con las dimensiones se consideran 8 horas diarias trabajadas.

Se puede observar en la tabla 10, que todas las obras presentaron menores valores de productividad que el considerado por la CDT en su estudio.

El objetivo de esta comparación era exponer tres obras que utilizan el sistema “Lean Construction” (Residencia, Clínica y Colegio) versus obras que no lo utilizaron (obras en el análisis de la CDT).

El sistema “Lean Construction” debiera reflejar mayores rendimientos en las obras en las cuales se utiliza este método, tal como se hace referencia en el capitulo 1. Sin embargo, en este caso no fue un factor predominante ya que en el total de los casos con “Lean Construction” se observa menor productividad, lo que llama a pensar que el principal factor es otro.

### Moldaje

A continuación, se analizarán las tres muestras correspondientes a moldaje de las mismas tres obras mencionadas a lo largo de este estudio. Para el análisis se utiliza el mismo procedimiento llevado a cabo en el anterior análisis, considerando las mismas hipótesis planteadas de manera genérica.

Para el caso del análisis con el método de Kruskal-Wallis los resultados son los siguientes:

Valor H = 35,789

Valor tabulado= 5,991

p-valor = <0,0001

De acuerdo a los resultados obtenidos se procede a rechazar la Hipótesis nula, dando paso a aceptar la hipótesis alterna la que indica que a lo menos una de las obras no posee una productividad similar en cuanto a la actividad de moldaje. Asumiendo un riesgo de error tipo 1 de 0,01%.

Lo que se debe investigar ahora es cuál de las obras es la que difiere, por lo que se procede a analizar los resultados obtenidos a partir del método de Dunn en conjunto con la corrección de Benferroni.

Muestra	Frecuencia	Prom edios	Media de rangos	Grupos		
Residencia - San Pedro de Atacama	25	5,450	36,840	A		
Lircay	25	3,038	19,840		B	
Colegio	24	10,920	56,583			C

Tabla 11: Resultados análisis Dunn. Actividad Moldaje.  
Referencia: Elaboración propia.

Los resultados muestran que las diferencias significativas se encuentran dentro de los tres grupos de análisis, es decir que al comprar “Residencia – San Pedro de Atacama” con “Clínica – Talca” estas poseen diferencias significativas entre ellas, lo mismo ocurre al comprar “Residencia – San Pedro de Atacama” con la construcción del “Colegio – Santiago” y la “Clínica – Talca” con la obra “Colegio – Santiago”.

Para entender los factores incidentes en el resultado se analizarán de manera puntualizada según lo expuesto en el capítulo, descripción de proyectos.

- **Relativo a la ubicación geográfica:** Tal como se expuso en el capítulo “Descripción de los proyectos” era de esperar que la mayor productividad estuviera asociada a la obra ubicada en Santiago, puesto que esta ubicación goza de una posición estratégica frente a eventualidades en obra, logística de materiales y maquinaria etc. Lo cual fue una conjetura correcta.  
Continuando con el mismo análisis, se esperaba que la obra “Residencia – San Pedro de Atacama” fuera la que arrojara un menor resultado, sin embargo, obtuvo el segundo lugar, dejando a la obra “Clínica - Talca” con la menor productividad para la actividad de Moldaje, se estima que este resultado es debido a otros factores.
- **Estándar de Calidad:** Si bien los resultados no fueron representativos para este factor se entiende que es debido a los estándares propios de la empresa.
- **Subcontrato de obra gruesa:** Una vez más la mayor productividad la arroja la obra que posee una mano de obra subcontratada y especialista, “Colegio - Santiago”. Por lo tanto, se considera como uno de los factores de importancia en esta actividad
- **Rango de mano de obra:** Se puede observar en los gráficos 19, 20 y 21 que la obra con menores retrasos fue la obra “Colegio – Santiago”, además es la que posee un menor índice de productividad por lo que justifica que el uso de mano de obra fue apropiado para ejecutar la actividad.

- **Meta de avance:** Este factor considera el avance teórico como la meta propuesta donde “Residencia – San Pedro de Atacama” es la que posee mayores diferencias, pero no es la de menores datos de producción, siendo la obra “Colegio – Santiago” la que presenta menores diferencias y mayor producción lo cual puede indicar que los avances adecuados pueden haber sido un factor importante para esa obra.
- **Grado de Simetría:** Las obras con patrones definidos en su infraestructura son “Residencia – San Pedro de Atacama” y “Colegio – Santiago” y justamente son las que presentan mayores rendimientos en esta actividad. De todas formas, es bastante claro pensar que, si un elemento es igual, la modulación y la instalación de las partes se realizan de manera sistemática cuando existe un patrón de referencia. Sin embargo, ambas obras presentan diferencias significativas entre sí, por lo que este no sería el factor de mayor importancia.

Al igual que en el caso de la actividad de enfierradura el siguiente factor se compara con el dato entregado por el informe de CDT, considerando este como un dato teórico en este estudio. El cuál podrá revelar si las obras bajo la metodología Lean son realmente más productivas o no con respecto a otras obras ya estudiadas.

**Tipo de Moldaje:** En las tres obras se utilizó el tipo de moldaje manual o manutrasportable, por lo que se comparara con el rendimiento que corresponde al mismo tipo según el gráfico 5. Cabe mencionar que en aquel gráfico se encuentra de manera separada los moldajes para muros y losas, mientras que en los datos reales medidos en este estudio no están separados por esas categorías ya que no aportaban información a los objetivos principales de este estudio. Para poder realizar un contraste acorde a los datos se usará el promedio entre rendimiento de los moldajes para losas y muros, y los datos reales de este estudio.

Obras	Rendimientos [m <sup>2</sup> /HD]
Valor teórico (promedio)	16,11
Residencia – San Pedro de Atacama	5,450
Clínica - Talca	3,038
Colegio - Santiago	10,920

Tabla 12: Rendimientos reales v/s teóricos CDT para moldaje.  
Referencia: Elaboración propia.

Al igual que en la actividad de enfierradura, los rendimientos fueron mucho más bajos que los expuestos en el análisis CDT. Por lo que se puede inferir que en este caso el sistema Lean Construction tampoco dio a conocer sus frutos.

### Hormigón

Siguiendo con en análisis de datos a continuación se estudian las tres muestras referentes a la actividad de Hormigonado de cada obra. Nuevamente el análisis corresponde al mismo efectuado anteriormente. Se obtienen los siguientes resultados;

Valor H = 54,3876

Valor tabulado= 5,991

p-valor = <0,0001

Una vez más se adquiere un valor H (k observado) mayor al valor crítico tabulado, por lo que se procede a rechazar la hipótesis nula. Lo que quiere decir que por lo menos una de las obras no posee la misma productividad laboral con respecto a las otras en la labor de hormigonado. Por consiguiente, se debe determinar cuál es la obra que difiere para obtener conclusiones empíricas de los factores estimados como probables responsables de las alteraciones de productividad. Siguiendo la misma línea de análisis utilizado en el extracto anterior se obtienen los siguientes resultados:

Muestra	Frecuencia	Promedio	Media de rangos	Grupos		
Clínica - Talca	27	2,245	18,556	A		
Residencia - San Pedro de Atacama	29	4,096	38,103		B	
Colegio - Santiago	21	12,923	66,524			C

Tabla 13: Resultados análisis de Dunn. Actividad Hormigonado  
Referencia: Elaboración propia.

Nuevamente se observa que el comportamiento de los datos es similar a las muestras de la actividad de moldaje, es decir, que cada obra posee una productividad media estadísticamente diferente a las demás, siendo la más productiva la obra “Colegio – Santiago” y la menos productiva la obra en “Clínica - Talca”.

Para complementar este resultado se puntualizan de manera explicativa los factores en análisis:

- **Relativo a la ubicación geográfica:** Nuevamente el resultado esperado fue correcto al estipular que la obra “Colegio - Santiago” obtendría una mayor productividad que las demás por las condiciones de proximidad de recursos antes mencionados. Con respecto a los resultados que arrojan una menor productividad se asume que este factor no es el que más incide en esta actividad.
- **Estándar de calidad:** En este caso era evidente determinar con anterioridad que este factor no sería incidente ya que esta actividad es bastante tosca en su implementación, y la forma de realizarla bien es bastante estandarizada para cualquier tipo de exigencia, por lo que se descarta del análisis de factores predominantes.
- **Subcontrato de obra gruesa:** Este factor es el más incidente en esta especialidad, puesto que se ajusta totalmente a lo esperado, la obra “Colegio - Santiago” es la que posee una mayor productividad por trabajar con mano de obra especialista.
- **Rango de mano de obra – Meta de avance:** este punto se realiza de manera conjunta puesto a que están relacionados. En este caso se dan situaciones distintas a las dos actividades ya estudiadas, puesto que se puede observar en los gráficos 22, 23 y 24 que la obra con mayores desfases fue la obra “Colegio – Santiago”, siendo esta la que obtuvo significativamente mayor productividad. Sin embargo, esta obra obtuvo un factor de productividad bastante cercano a 1 lo que quiere decir que su productividad estuvo relativamente cercana a la planeada.

En este punto hay que destacar que la obra “Clínica – Talca” obtuvo el menor rendimiento en cuanto a promedio general, sin embargo, la diferencia de avance fue negativa y el factor de productividad menor a uno lo que se traduce en que la productividad de esta actividad en la obra mencionada fue más alta que la esperada. Esto puede deberse a una excelente producción o a una mala planificación de la labor. Si la razón tuvo que ver con una producción mejorada entonces las metas de avances y en rango de mano de obra estuvo correcto.

Para esta actividad también se considera el siguiente factor como idóneo para ser comparado con el estudio realizado por la corporación de desarrollo tecnológico.

**Bombas de hormigón:** en este punto se hará una comparación de cada obra con su respectivo rendimiento teórico, ya que a diferencia de las otras actividades en esta no se utilizó el mismo sistema de bombeo y llenado.

Nuevamente se considera 8 horas como un día trabajado y así coincidir con la unidad medida. Los datos utilizados como teóricos son los obtenidos en el gráfico 2, utilizando los datos reales ya que ese es justamente el propósito de esta comparación.

Obras	Formato llenado	Rendimiento real [m <sup>3</sup> /HH]	Rendimiento CDT [m <sup>3</sup> /HH]
Residencia – San Pedro de Atacama	1 grúa + capacho	0,512	0,46
Clínica - Talca	1 grúa + capacho	0,28	0,46
Colegio - Santiago	Bomba telescópica + 1 grúa	1,61	0,58

Tabla 14: Rendimientos reales v/s teóricos CDT para hormigonado.  
Referencia: Elaboración propia.

Al observar la tabla 13 se puede inferir que tal como lo propone el estudio realizado por la cámara chilena de la construcción el uso de la bomba telescópica genera mejores rendimientos en la actividad de hormigón. Adicionalmente se puede desprender que tanto en las obras “Residencia – San Pedro de Atacama” como en “Colegio – Santiago” se obtuvo una productividad mayor que la obtenida por el estudio de CDT, esto puede ser debido a que la ideología “Lean construction” es útil para esta actividad, seguramente por ser una de las actividades que depende de menos factores, tal como lo demuestra la tabla 13 y el gráfico 2 el hecho de escoger el tipo de llenado adecuado asegura una productividad alta, por lo que solo se debe saber controlar bien un recurso en vez de varios como puede ocurrir en otras actividades.

## 5.4 Análisis comparativo de costos

### 5.4.1 Costos base

Como la lógica lo indica es fácil pensar que lo más óptimo es contar con un equipo lo más productivo posible, pero además es necesario evaluar cuál es el costo de esta producción, ya que si bien podemos tener un equipo que genere un producto en una cantidad “x” de tiempo a un costo de “y” la hora, y tener a otro equipo que genere el mismo producto en el doble de tiempo pero a un tercio del costo, lo que indica que a pesar de la productividad laborar existe otra variable que puede mejorar el producto final, y esta es el costo del mismo. Por esta razón es necesario evaluar este ítem.

El objetivo de este apartado es comparar los costos de mano de obra correspondientes a las actividades de obra gruesa, que ya se han evaluado anteriormente, ya que tal como se expuso en el ítem de principio de Pareto estas actividades corresponden a la mayoría de los costos involucrados del proyecto. Cada actividad se comparará con su análoga en otro de los proyectos en investigación.

A continuación, se explica el proceso llevado a cabo para realizar este análisis. Es importante destacar que se trabajará con valores representativos, como proporción, puesto que los valores de costos corresponden a información confidencial de la empresa.

- 1.- Se obtienen los valores de mano de obra de cada actividad en estudio desde el análisis de precios unitarios. Cada obra posee unidades diferentes para contabilizar cada actividad, por lo que es necesario llevarlas a la misma dimensión.
- 2.- Todos los costos obtenidos se llevan a Día-Hombre para poder realizar un análisis comparativo y poder transponerlo con la productividad obtenida en el capítulo anterior.
- 3.- Es necesario recordar que las obras fueron realizadas en diferentes años, por lo tanto, corresponden a diferentes periodos financieros, esto significa que hay que actualizar los valores obtenidos para que puedan ser comparados.

*“Para determinar una inflación se analiza cuanto ha aumentado porcentualmente el IPC en un periodo determinado con respecto al IPC en un periodo anterior”<sup>20</sup>* . De esta manera se procede a calcular la inflación y así obtener los datos actualizados.

Los datos de IPC se buscan en las tablas expuestas en el Instituto Nacional de estadística de acuerdo a los años de ejecución de cada obra. Las tablas se encuentran la página oficial del instituto nacional de estadísticas ([www.ine.cl](http://www.ine.cl)).

- 4.- Una vez actualizados los valores asociados al costo de mano de obra se efectúa la transformación debida para llevar el dato a un valor adimensional, y así trabajar con la proporción del costo en cada actividad. A continuación, se muestra la tabla de resultados del análisis expuesto;

---

<sup>20</sup> Instituto nacional de estadísticas, [www.ine.cl](http://www.ine.cl).

ACTIVIDAD	OBRAS	ÍNDICE DE COSTOS	FORMA DE PAGO M.O
<b>ENFIERRADURA [DH]</b>	Residencia (2016)	1	Promedio según avance
	Clínica (2012)	1,23	Costo fijo
	Colegio (2010)	<b>1,525</b>	Promedio según avance
<b>MOLDAJE [DH]</b>	Residencia (2016)	<b>1</b>	Promedio según avance
	Clínica (2012)	0,472	Costo fijo
	Colegio (2010)	0,575	Promedio según avance
<b>HORMIGÓN [DH]</b>	Residencia (2016)	<b>1</b>	Costo fijo
	Clínica (2012)	0,516	Costo fijo
	Colegio (2010)	0,414	Costo fijo

Tabla 15: Índices de costos por actividad y obra.

Referencia: Elaboración propia, basado en análisis de precios unitarios, control de gastos y ajustes de IPC correspondientes.

La obra “Residencia” es la utilizada como referencia para el cálculo de los índices de costos asociados a la mano de obra de cada actividad. Los datos mostrados en la tabla N° 14 corresponden a la relación de costo de mano de obra de las otras dos obras con respecto a “Residencia”. En términos generales el mayor valor de cada actividad delata la mano de obra más costosa de la actividad correspondiente (dato en negrita). Por estas razones es posible determinar las siguientes conclusiones:

- 1.- La obra “Colegio” es la que posee mayores costos asociados a la mano de obra de enfierradura en una proporción de 0,525 (52,5%) sobre “Residencia”. La obra “Clínica” posee el segundo lugar más costoso en la misma actividad, con un 23,0% más.
- 2.- La obra “Residencia” es la de mayores costos asociados a la actividad de moldaje, siendo un 52,8% mayor a la mano de obra de “Clínica” y un 42,5% más alta que la obra “Colegio”.
- 3.- Por último, el mayor costo de mano de obra de la actividad de hormigonado corresponde nuevamente a la obra “Residencia”, siendo un 48,4% y 58,6% mayor que la obra “Clínica” y “Colegio” respectivamente.

Por otra parte, el propósito de este capítulo es determinar el gasto real o efectivo de cada actividad generado por concepto de mano de obra, el cual corresponde al gasto que la empresa realmente incurrió para producir un servicio o producto. Para determinar este valor se trabajará con la producción real y costo real en una determinada actividad, obteniendo el valor real unitario del producto o servicio efectuado. En la segunda columna llamada índice costo se expresa el valor real que pagó la empresa en cada obra, este valor se muestra como índice ya que el valor monetario es un dato sensible para la empresa, se escoge como índice base el número 8 que refleja las 8 horas diarias trabajadas por un hombre. En la tercera columna se expone el rendimiento real (promedio) medido en terreno. En la última columna

se expone el costo efectivo, el que corresponde al cociente entre el índice costo y el rendimiento promedio, de esta manera se vislumbra el costo real de la actividad medida.

En la siguiente tabla se muestra el índice de costo efectivo por unidad de kilogramo ejecutada calculado según el apartado anterior:

Obras	Índice costo [\$/HD]	Rendimiento Promedio [Kg/HD]	Índice costo efectivo [\$/kg]
<b>Residencia</b>	8,00	28,35	0,28
<b>Clínica</b>	<b>9,84</b>	<b>31,93</b>	<b>0,31</b>
<b>Colegio</b>	12,20	60,04	0,20

Tabla 16: Costos efectivos por kilogramo instalado. Actividad de enfierradura.  
Referencia: Elaboración propia.

Para el caso de la actividad de enfierradura la obra que incurrió en mayores costos efectivos relacionados a la mano de obra fue “Clínica” a diferencia del análisis anterior que indicaba que la obra con mayores costos asociados era “Colegio”. Esto se da debido a que el costo base de mano de obra de colegio era mayor pero su rendimiento también fue mucho más alto, por lo que genera una reducción en el costo real del producto (servicio) entregado. Continuando con este análisis, se puede observar que la obra “Clínica” obtuvo bajos niveles de rendimiento y eso provoca que el costo efectivo del kilogramo de fierro instalado sea mayor. Por otra parte, es importante destacar que la forma de pago de la obra “Clínica” es la única de costo fijo, a diferencia de las otras dos obras donde el pago era según avance. Esto genera que el valor afectivo del kilogramo de fierro instalado dependa 100% de la productividad de los enfierradores en el caso de la obra “Clínica”, y en los otros dos casos el valor efectivo corresponde al valor teórico, puesto que se paga según avance.

A continuación, se expone una tabla con los costos efectivos de metro cuadrado instalados de moldaje para cada obra:

Obras	Índice costo [\$/HD]	Rendimiento Promedio [m2/HD]	Índice costo efectivo [\$/m2]
<b>Residencia</b>	<b>8,00</b>	<b>36,84</b>	<b>0,22</b>
<b>Clínica</b>	3,78	19,84	0,19
<b>Colegio</b>	4,60	56,58	0,08

Tabla 17: Costos efectivos por metro cuadrado instalado. Actividad de Moldaje.  
Referencia: Elaboración propia.

Para el caso de la actividad de moldaje se observa que el mayor costo efectivo de mano de obra corresponde al proyecto “Residencia” tal cual se obtuvo en el primer análisis de costos de esta actividad. Esto es debido a que la productividad de “Residencia” no alcanzó a ser suficiente para sopesar los altos valores de mano de obra en relación a las otras obras en estudio. Además, se puede observar que la obra “Clínica” cambió su posición de ser la menos costosa a estar muy cercana a “Residencia”, esto se debe al mismo concepto tratado anteriormente, al ser la única obra con costo fijo de mano de obra, el costo real de un metro cuadrado de moldaje instalado es mucho mayor cuando el rendimiento no fue lo esperado o menor a los otros proyectos en estudio.

De manera análoga se expone a continuación, la tabla referente a los costos efectivos correspondientes al llenado de un metro cúbico de hormigón.

Obras	Índice costo [\$/HD]	Rendimiento Promedio [m3/HD]	Índice costo efectivo [\$/m3]
Residencia	8,00	38,83	0,21
Clínica	<b>4,13</b>	<b>18,56</b>	<b>0,22</b>
Colegio	3,31	68,44	0,05

Tabla 18: Costos efectivos por metro cúbico instalado. Actividad de hormigonado.  
Referencia: Elaboración propia.

En la tabla N° 17 se puede observar que los mayores costos efectivos asociados al montaje de hormigón los posee la obra “Clínica”, desplazando a “Residencia” que fue la que obtuvo mayores costos en el análisis previo. Esto una vez más se debe a que la productividad en el proyecto “Clínica” no fue lo suficiente para ponderar los costos fijos de mano de obra. En este caso la obra “Colegio” también utilizó costos fijos en esta actividad, pero su comportamiento fue opuesto al de “Clínica” ya que su productividad fue muy alta lo que generó que los costos asociados al montaje de un metro cúbico de hormigón sea mucho menor que en las otras obras de este estudio.

#### 5.4.2 Costos extras

El análisis anterior de costos se llevó a cabo considerando valores base del proyecto, sueldos base o costo fijo por unidad ejecutada (según avance), dejando fuera la asignación por viáticos de alojamiento, comidas y traslados. Este costo es especialmente relevante en este estudio debido a que cada obra tiene un estipendio considerablemente diferente entre sí, lo que puede cambiar radicalmente el análisis anterior de costos efectivos.

A continuación, se expone una tabla resumen con los valores finales de costos de mano de obra incorporando el valor extra antes mencionado. En el caso de la obra “Residencia” los valores adicionales ascienden al 100% de su sueldo puesto que es un lugar muy alejado y de difícil acceso. Los porcentajes extras de la obra “Clínica” son de 30% para trabajadores externos a Talca, y un 10% de viático para trabajadores oriundos de Talca. Por lo que se trabajó con un promedio de 20% para realizar el cálculo final, puesto que la mitad de trabajadores eran externos. En la obra “Colegio” no existió un costo extra por estos conceptos debido a que toda la mano de obra era subcontratada y con residencia en Santiago (ciudad donde se encuentra la obra).

ACTIVIDAD	OBRAS	% ADICIONAL	ÍNDICE DE COSTO FINAL
<b>ENFIERRADURA [DH]</b>	<b>Residencia (2016)</b>	<b>100%</b>	<b>0,564</b>
	Clínica (2012)	30%-10%	0,370
	Colegio (2010)	0%	0,203
<b>MOLDAJE [DH]</b>	<b>Residencia (2016)</b>	<b>100%</b>	<b>0,434</b>
	Clínica (2012)	30%-10%	0,229
	Colegio (2010)	0%	0,081
<b>HORMIGÓN [DH]</b>	<b>Residencia (2016)</b>	<b>100%</b>	<b>0,412</b>
	Clínica (2012)	30%-10%	0,267
	Colegio (2010)	0%	0,048

Tabla 19: Costos finales después de extras.

Referencia: Elaboración propia.

Es bastante claro que la obra “Residencia” subiría considerablemente sus costos finales efectivos debido a la alta asignación considerada en este proyecto. En la tabla N° 18 se observa que efectivamente los costos de mano de obra de todas las actividades analizadas corresponden a “Residencia”.

A modo de conclusión es imperativo contar con un viático adecuado en los recursos a contratar, ya que estos pueden ser los que generen una diferencia significativa y real frente a otras ofertas u proyectos.

Cabe destacar que los datos entregados corresponden a información sensible del punto de vista de la empresa, por eso se manejan de manera global con porcentajes y no con unidades monetarias, por el mismo motivo no se extenderán los análisis efectuados en este punto.

Para tener más claro este ítem es que se decide exponer de manera separada los costos (índices de costos), para demostrar cuanto puede incidir una buena productividad en los valores finales, ya que si se hubiera mostrado el costo final total no sería claro que tan diferente hubiera sido sin contrarrestar los valores con la productividad muestreada.

## 5.5 Análisis complementarios: Terminaciones

En el presente capítulo se expondrán nuevos datos de producción de áreas diferentes a la ya evaluadas en capítulos anteriores, según datos tomados in situ en la obra “Residencia”. El objetivo es identificar nuevos comportamientos de rendimiento en otros casos de estudios considerando nuevas variables.

### 5.3.1 Montaje de tabique v/s construcción in “in-situ”

En la obra “Residencia – San Pedro de Atacama” se ejecutaron dos tipos de tabiques en la construcción del hotel. Un tabique prefabricado, el cual solo requiere de montaje y un tabique

tradicional, aladaño al prefabricado, que se instala de manera tradicional, con montantes de aluminio y un paquete de tres planchas de volcanita según especificaciones técnicas.

Se tomaron datos de producción de estas dos actividades para poder identificar las posibles diferencias de rendimiento en cada caso.

Se espera que en este caso la productividad sea mayor cuando se trate del montaje de tabiques que su ejecución en obra, razón por la cual se trabaja con estos elementos prefabricados.

A continuación, se muestran dos gráficos correspondientes a la productividad obtenida en la actividad de montaje de tabiques e instalación de los mismos respectivamente.

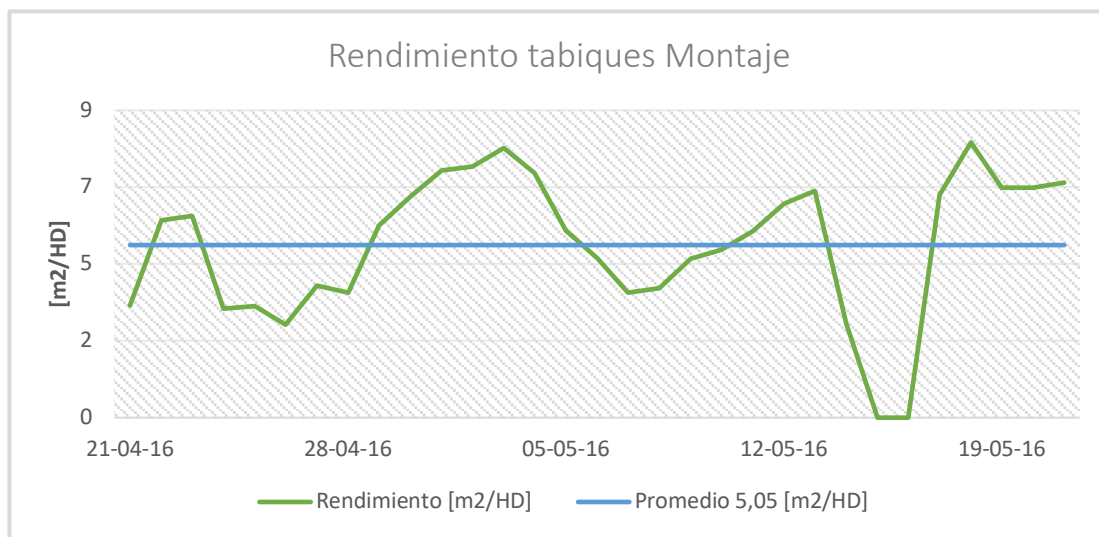


Gráfico 34: Rendimiento montaje tabique en obra Residencia – San Pedro de Atacama.  
Referencia: Elaboración propia.

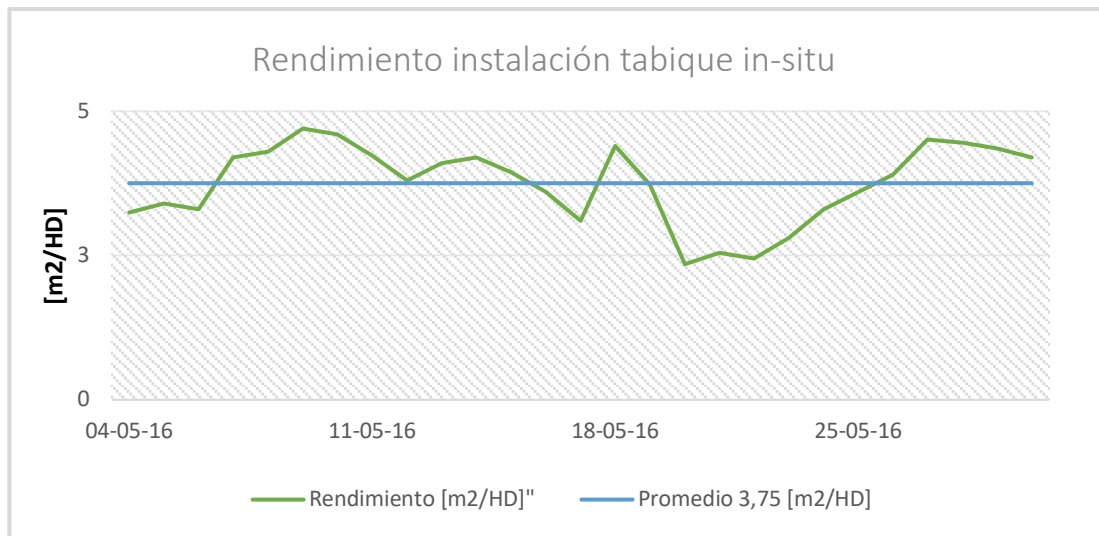


Gráfico 35: Rendimiento tabique in situ en obra Residencia – San Pedro de Atacama.  
Referencia: Elaboración propia.

En los gráficos expuestos se puede observar de manera clara que durante el período de análisis fue más productiva la labor de montaje de tabiques prefabricados que la ejecución de tabiques, el primero arroja un promedio de 5,05 [m<sup>2</sup>/HD], mientras que el segundo posee un promedio de 3,75 [m<sup>2</sup>/HD].

Al analizar este comportamiento, se considera una conducta concordante a lo esperado. Sin embargo, en el gráfico 34 se observan mayores variaciones que al construir en tabique in situ. Debido a que al trabajar con un elemento prefabricado pueden ocurrir nuevas fallas en el montaje, la más recurrente era que las dimensiones no eran concordantes con el lugar de instalación, por lo tanto, los trabajadores tenían que incurrir a reparar este elemento, muchas veces desarmar para rearmar con las medidas adecuadas, es decir hacían un doble trabajo en lugar de acelerar el proceso solo instalando.

Por lo tanto, es importante destacar que, al incurrir en un nuevo formato de construcción, tal como lo son los elementos prefabricados, es imprescindible tener en cuenta los nuevos puntos críticos o de inflexión que puedan retrasar la productividad, en este caso la nueva variable a considerar es la baja tolerancia de error que deben tener los tabiques prefabricados para su montaje.

Sin embargo, y pese a que la productividad del montaje de tabiques no fue la esperada, se puede apreciar en el gráfico N° 36 un aumento de productividad final, logrando disminuir la brecha existente entre el avance programado (teórico) y el avance real. Adicionalmente se puede inferir que se genera un contexto de aprendizaje, ya que al ser un nuevo método de construcción para los trabajadores, ellos deben incurrir en un aprendizaje para lograr la productividad esperada, lo cual se observa en el gráfico N°36.

Lo contrario ocurre con el avance esperado de los tabiques ejecutados en obra, al observar el gráfico N° 37, se observa que el avance real va siendo cada vez inferior al esperando, generando una brecha mayor a medida se avanza en esta actividad.

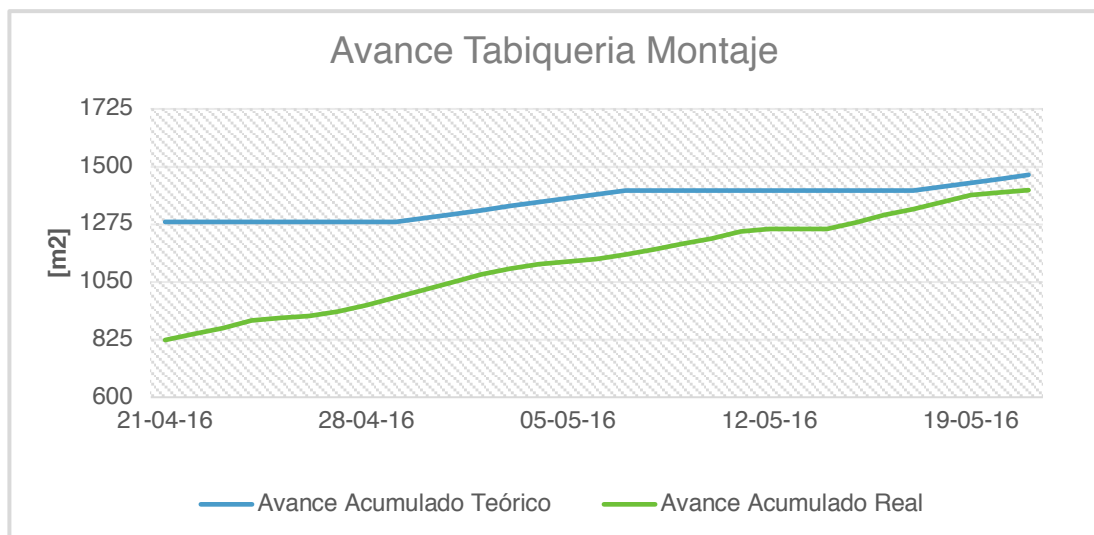


Gráfico 36: Avance teórico v/s real Montaje tabique. Obra "Residencia – San Pedro de Atacama"  
Referencia: Elaboración propia.

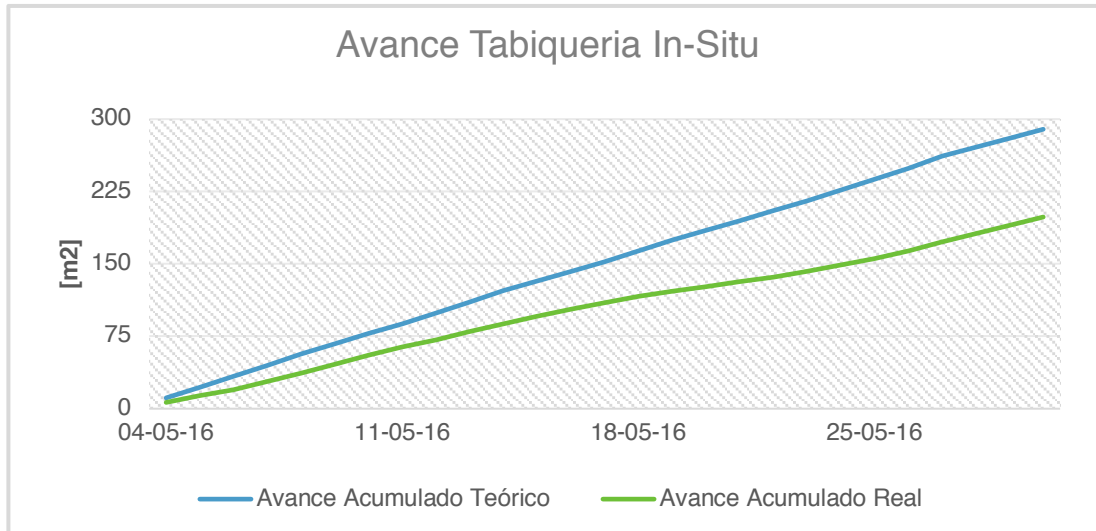


Gráfico 37: Avance teórico v/s real Tabique in-situ. "Residencia – San Pedro de Atacama"  
Referencia: Elaboración propia.

En definitiva, es importante volver a destacar una buena programación de actividades según las labores ejecutadas en cada una de ellas, y ser lo más acertado posible con esta proyección, como lo ocurrido en el caso de la actividad de Montaje de tabiques, que, además de obtener una mayor productividad que el ejecutado en obra, el hecho de estar bien programado y haber considerado una menor productividad inicial impide que se generen atrasos por malas proyecciones.

## 6 CONCLUSIONES

Como resultado de la investigación estadística presentada, es posible concluir que existen diferencias significativas en la productividad laboral en las tres actividades estudiadas. Sin embargo, la actividad de enfierradura presentó diferencias sólo en una de las obras, mientras que las dos actividades restantes presentaron diferencias importantes en las tres obras involucradas en este análisis.

Una de las principales premisas de este estudio era identificar si la característica de ubicación geográfica era relevante para lograr mejores resultados en cuanto a productividad. En base a esta idea, es posible determinar que efectivamente la ubicación geográfica es un factor preponderante en esos casos, ya que las tres actividades estudiadas arrojaron resultados favorables para la obra ubicada en Santiago "*Colegio*", y lo cual era de esperarse puesto que esta obra se ubica en un lugar estratégico para movilidad e ingreso de materiales, mejor accesibilidad de los trabajadores, tecnologías al alcance, etcétera. Sin embargo, la obra que se esperaba tuviera menores resultados era "*Residencia*" por su alejada ubicación y condiciones climáticas extremas, esta obtuvo menores resultados en la actividad de enfierradura, siendo significativamente diferente solo del proyecto ubicado en Santiago. Esto responde a que la ubicación geográfica afecta más por carácter de localización estratégica que por condiciones de exposición medioambientales del trabajador.

Continuando con la proposición de identificar los factores más incidentes uno de los que se destacó en este estudio fue el uso de subcontratos, esto se refiere a si era mano de obra especializada (subcontratada) o mano de obra semi-calificada (contrato permanente de la empresa). Esto se observa al detectar que la obra "*Colegio*" posee la mayor productividad en las tres actividades de obra gruesa, además de ser significativamente diferente en todos los casos, siendo esta la única obra que conto con mano de obra subcontratada y además especializada en cada actividad. Esto también comprende a un análisis posterior de costos, puesto que a los subcontratos se les paga un monto fijo por toda la actividad, no por días trabajados, lo que genera más interés en el trabajador en cumplir con el plazo propuesto.

Para el caso de los otros factores en evaluación, se observaron resultados menos identificables, puesto que su incidencia fue distinta en cada obra, en algunas se cumplió lo esperado mientras que en las otras no. Por lo tanto, se establece que los principales factores que aportan variabilidad en la productividad de las actividades de obra gruesa son la ubicación geográfica y la calidad de mano de obra (subcontratos).

Se ha dejado en evidencia que la mano de obra es una de las variables a estudiar con mayor vulnerabilidad a factores externos, esto se desprende al observar los cuadros comparativos de cada obra en las tres actividades estudiadas, observando las indudables diferencias entre ellas. Por lo tanto, es complejo poder realizar una proyección exacta del comportamiento de este elemento, pero conociendo los factores de mayor incidencia en la conducta de esta variable pueden ser considerados para realizar una proyección más certera, y además, poder identificarlos en el proceso constructivo para ser capaces de controlarlos.

Una buena proyección es vital para el éxito de un proyecto, esto se pudo reflejar en varios puntos a lo largo de este estudio, como por ejemplo en el estudio de avance de tabiquería en

la obra "*Residencia*", que pese a que la productividad de montaje de tabique fue mayor que realizarlos en obra existieron problemas que no se habían evaluado anteriormente como el hecho de que el tabique no fuera de las medidas adecuadas y esto generó atrasos importantes en el montaje, afortunadamente esto no produjo un atraso general en la obra debido a que la programación del montaje de tabiquería se realizó con mayores precauciones, reflejando de mejor manera la producción real, evitando atrasos posteriores. Cabe destacar que la obra "*Residencia*" fue la pionera en el uso de los elementos prefabricados para la empresa.

El costo del proyecto es otro punto de gran importancia en la ejecución de un proyecto, y parte de los objetivos de este estudio era demostrar cómo puede influir una mala productividad en este ítem. Por estas razones es imprescindible conocer el costo real de la mano de obra en el proyecto, y entender a qué se debe las variaciones considerando el costo inicial presupuestado versus el costo real final. Esta diferencia de valores corresponde netamente a la productividad efectuada por la mano de obra y forma de pago (días trabajados o fijo por actividad). Como se puede observar en la tabla N° 14 la mano de obra más costosa en primera instancia es la de "*Colegio*" para la actividad de enfierradura y "*Residencia*" para las actividades de moldaje y hormigonado, pero esto cambia evidentemente al incorporar la productividad en cada caso, obteniendo que la obra más costosa fue "*Clínica*" en las actividades de enfierradura y hormigonado.

Por los resultados anteriormente expuestos es importante tener claro que es más conveniente pactar un pago por la actividad ejecutada en vez de pagar por días trabajados, puesto que existen demasiados factores poco manejables que pueden perjudicar la producción de las actividades, y estos costos solo los sopesa la empresa. Otra pieza de importancia en este ítem es la de poder estimar correctamente los costos extras asociados a los trabajadores, los llamados viáticos, puesto que éstos si corresponden a costos inherentes al tiempo laburado del trabajador, es decir si existe un atraso en la actividad ejecutada también existirá un gasto extra por este concepto, como se puede apreciar en la tabla N° 18.

Además de optar por un adecuado tipo de pago vuelve a tomar protagonismo el concepto de realizar una buena proyección en las actividades, ya que por más que se decida pagar por día trabajado, este concepto sería perjudicial en caso de que el avance programado fuera menor que el avance real. Pero hay que destacar que según lo visto a lo largo de este estudio el avance real suele estar por debajo del avance esperado, contemplando en esos casos una proyección no adecuada. Por lo tanto, se recomienda tener especial cuidado con la relación proyección- capacidades mano de obra a la hora de estudiar un proyecto, puesto que muchas veces se estima una buena proyección contratando una mano de obra deficiente que no logrará las metas propuestas, generando baja productividad laboral lo que finalmente se traduce a pérdidas monetarias. Además de considerar una mano de obra capacitada para el trabajo que se requiere es primordial conocer los factores que pueden afectar ese trabajo.

Desde la comparativa global, asumiendo la metodología "*Lean construction*" como una herramienta que favorece la productividad, los resultados obtenidos en la comparación con obras externas no fueron los esperados puesto que sólo en la actividad de hormigón se observó un mayor rendimiento. Esto responde a dos situaciones; (1) Las actividades de enfierradura y moldaje poseen varios factores incidentes, por lo que muchas veces una herramienta de gestión y control no es suficiente para sopesar el error de una mala programación, por ejemplo. (2) Cuando se poseen actividades que posee menos

singularidades y estas son preponderantes en la actividad es donde se advierte que las herramientas de control son importantes, como lo ocurrido en la actividad de hormigonado al utilizar como método de llenado una bomba telescópica en lugar de otra metodología mejoró notoriamente el rendimiento, puesto a que el control se posó sobre sólo un elemento.

Considerando lo anterior expuesto y reiterando que los antecedentes analizados corresponden a los datos de productividad de las tres actividades principales de obra gruesa, es correcto asumir que los resultados obtenidos pueden referirse a cómo afectan realmente la productividad y los costos asociados a la obra completa por lo expresado en el principio de Pareto. Esto se debe a que la cantidad de partidas que están presentes en la obra gruesa es significativamente menor a las partidas relacionadas con las terminaciones. Sin embargo, esa cantidad menor de partidas, representan una mayor parte del presupuesto, a diferencia del proceso de terminaciones que cuenta con una gran cantidad de partidas que individualmente tienen un porcentaje de incidencia menor dentro del volumen total de terminaciones. Además, el tiempo que contempla obra gruesa es mayor al 50% del tiempo total del proyecto. Es por eso que el análisis de obra gruesa se determina como aplicable a toda la obra.

Como ya se sabe, los tres casos estudiados en este texto son ejecutados por la misma empresa por lo que los estudios previos se han tratado de manera similar, considerando los mismos factores a evaluar, lo que hace aún más validos los argumentos planteados a lo largo de la memoria, ya que estamos comparando obras que se analizaron bajo las mismas consideraciones por los mismos especialistas. Sin embargo, y pese a lo anteriormente descrito, existen factores propios de cada obra, siendo el más importante el lugar donde cada una se emplaza, ya que de esto depende toda la logística que llevará a cabo el funcionamiento de la obra, y una mala decisión dentro de esta línea podría traer consecuencias importantes. Por ejemplo, en los tres casos de estudios ocurrieron atrasos de materiales utilizados en la obra, lo que produce evidentemente un retraso en las labores de cada actividad, el hecho de que se tuviera un subcontrato era perjudicial puesto que no eran aptos para aportar en otras áreas, pero en las obras que se contaba con mano de obra propia de la empresa estos eran asignados a otras tareas las cuales podían realizar bastante bien. Esto no quiere decir quiere decir que sea mejor tener gente que pueda realizar todos los trabajos, si no que más bien se expone para respaldar que un equilibrio en las decisiones del contrato de mano de obra puede sopesar otros factores que ocurren a lo largo de la construcción.

Cabe destacar, que las conclusiones inferidas en este estudio están directamente relacionadas con las limitaciones del mismo, puesto que se trabajó con datos obtenidos de distintas fuentes de información, la misma cantidad de datos no era igual en cada muestra entre otras. Sin embargo, los resultados obtenidos concuerdan con lo reflejado físicamente en cada uno de los proyectos en estudio. Adicionalmente se establece que los resultados obtenidos se manifestaron de manera clara y en todos los casos fueron concluyentes, no se produjo un empate o alcance de valores.

Finalmente, todos los problemas que se producen recaen en una planificación poco precisa y costos muy ajustados para proyectos donde no se conocen todas las condiciones en donde se va a trabajar. Por lo que se recomienda realizar un buen estudio para la planificación de mano de obra sobre todo de obra gruesa, que son partidas que no se pueden atacar de manera simultánea y todo lo que pudiera generar atrasos en estas actividades.

Es importante mencionar que esta investigación es importante en términos de cuantificar realmente lo que puede ocurrir si no se toman las medidas necesarias en la etapa de estudio de proyecto, utilizando como ejemplo de estudios tres obras de diferentes características, considerándolas como representativas para el alcance de este estudio.

Para cerrar este estudio se recomienda utilizarlo como base para seguir estudiando el concepto de productividad en otros sectores de la construcción, ya que este proyecto posee datos de productividad en ciertas condiciones pocas veces medidas, como el caso de las mediciones realizadas en el observatorio *Residencia* ubicado a 3000 m.s.n.m., y sobre todo porque se cree que las construcciones en zonas geográficas de altura irán creciendo, debido a las características geográficas del país. Otra manera de abordar una continuación de este estudio es profundizar en los costos monetarios asociados al tipo de acuerdo pactado entre empleado y empleador, versus productividad empírica, puesto que en este estudio no se profundizó por ser información confidencial y delicada de la empresa que brindó los antecedentes.

## BIBLIOGRAFIA

A. SAEZ; J.M. SUAREZ; F. ALIAGA y R.M. BO. La utilización de los procedimientos de comparaciones múltiples en la investigación educativa en España [en línea] Revista de Investigación Educativa. Valencia (España) 1994, nº 23 (1), pp 396-404. <<https://www.uv.es/aliaga/COMPMU93.html>> [consulta: 20 junio 2017]

ABURTO Salazar, Alejandro Antonio. Desarrollar un manual de procedimientos para la planificación de obras de construcción de edificios. Memoria (Ingeniero Civil), Santiago de Chile. Universidad de Chile, Departamento de Ingeniería Civil, 2016. 134 h.

ALPUCHE Sánchez, Rodrigo. El impacto de la calidad total y la productividad en empresas de construcción. Tesis (Licenciatura en Ingeniería Civil). Cholula, Puebla. Universidad de las Américas Puebla, Departamento de Ingeniería Civil, 2004. Capítulo 3: Productividad en la construcción pág. 29-55.

ÁLVARES Cáceres, Rafael. Estadística aplicada a las ciencias de la salud. España. 2007. 996 p.

AMÓN Uribe, Iván. Guía Metodológica para la Selección de Técnicas de Depuración de Datos [en línea] Medellín, Colombia. <<https://pdfs.semanticscholar.org/7bdc/0be255a1b2d5e0576ae3e50937313e31c340.pdf>> [consulta: 13 Mayo 2017].

B. Niebel, Ingeniería Industrial: Métodos, estándares y diseño del trabajo. Alfaomega, México, 2001.

BARAHONA, Fernando San Segundo y MARVÁ Ruiz, Marcos. POST DATA 1.0 Una introducción a los conceptos de la estadística [En línea].Madrid, España. <[www.postdata-statistics.com](http://www.postdata-statistics.com)>.[Consulta: 03 de abril 2017].

BIT. Santiago, Chile (92). Abril 2013.

CARDONA Arias; Jaiberth Antonio. Ortodoxia y fisuras en el diseño y ejecución de estudios descriptivos. Revista MED. (23):40-51. 2015.

Carl T, Jhon D. Borcharding, Eric Allmon, Paul M. Goodrum. U.S. Construction Labor Productivity Trends, 1970-1998. [en línea] <<http://www.elcosh.org/record/document/1558/d000131.pdf>> [consulta: 07 septiembre 2017].

Enrique Gutiérrez López. "Concepto de productividad y su medición". Tesis (escuela de ciencias Químicas). Universidad de Sonora, 1987, capítulo 1. Página 5.

Estimating Lost Labor Productivity in Construction Claims. [en línea] AACE International Recommended Practice No. 25R-03, April 13, 2004. <<http://sde-us.com/docs/emailblasts/JetBlue/LostLabor.pdf>> [consulta: 17 Julio 2017]

H. Mauricio Diez-Silva, M. Amaya Pérez-Ezcurdia, Faustino N. Gimena Ramos, Maricela I. Montes-Guerra. Indicadores de rendimiento en procesos de gestión de proyectos. Caso de estudio en el sector público de Colombia. [en línea]. XV Congreso Internacional de Ingeniería de Proyectos. Huasca. 6-8 de julio de 2011. <[http://www.aepro.com/files/congresos/2011huasca/CIIP11\\_0055\\_0074.3253.pdf](http://www.aepro.com/files/congresos/2011huasca/CIIP11_0055_0074.3253.pdf)>. [consulta: 4 agosto 2017].

Juan Felipe Pons. Introducción a Lean Construction. Madrid. Fundación laboral de la construcción. 2014. 11-20; 58-60.

José Miguel Bolívar, efectividad centrada en las personas [En línea] <<http://www.optimainfinito.com/2015/09/diferencias-entre-eficiencia-eficacia-y-efectividad.html>> [fecha consulta 20 septiembre 2017].

McKinsey. Desarrollando una agenda para impulsar la productividad de Chile Gestión de Excelencia Operacional. [en línea]. <<http://www.productividadchile.cl/wp-content/uploads/2015/10/Estudio-McKinsey-2015-Excelencia-Operacional.pdf>> [consulta 9 de agosto 2017].

MONZÓN Riquelme, Ronald Gardy Andrés. ESTIMACIÓN DE PÉRDIDAS DE PRODUCTIVIDAD LABORAL EN COMPENSACIÓN DE COSTOS EN UN PROYECTO DE CONSTRUCCIÓN DE LA PROVINCIA DE LLANQUIHUE. Tesis (Ingeniero Constructor). Valdivia. Universidad Austral de Chile, Facultad de Ciencia de la Ingeniería, 2009. 91 h.

Moreno Villegas, Oscar Alberto. “Productividad y desarrollo económico”. Tesis (División de Ingeniería). Universidad de Sonora, 1995, capítulo 1. Página 4.

NAVARRO Asencio, Enrique. Guía para la interpretación de resultados en el contraste de hipótesis estadísticas (Estadística Paramétrica y No Paramétrica) [en línea] <<https://es.slideshare.net/navarroatencio/gua-contraste-de-hipotesis-blog>> [consulta: 7 Mayo 2017].

Red de revistas científicas de América latina y el Caribe, España y Portugal. Mérida, México. Vol 8 (2). 2004.

Revista Colombiana de Estadística. Medellín, Colombia. (29). 2006

RIAL Boubeta, Antonio y VARELA Mallou Jesús. Estadística práctica para la investigación en ciencias de la Salud. España. Netbiblo. 2008. 344p.

Rodrigo Alcoholado. “Productividad laboral en Chile ¿Cómo estamos?” [En línea]. <[https://irade.cl/wp-content/uploads/2013/12/Rodrigo\\_Alcoholado.pdf](https://irade.cl/wp-content/uploads/2013/12/Rodrigo_Alcoholado.pdf)>. [Fecha consulta: 20 de septiembre 2017].

ROJO, José Manuel. Análisis Descriptivo y Exploratorio de Datos [en línea] <<https://www.uv.es/friasnav/SPSS analisis descriptivo.pdf>> [consulta: 17 septiembre 2017].

SUMANTH, David J. Evaluación de filosofías y técnicas para el mejoramiento de la productividad y calidad. En su: Ingeniería y administración de la productividad: medición, evaluación, planeación y mejoramiento de la productividad en las organizaciones de manufactura y servicio. México, McGraw-Hill Interamericana, 1990, pp 11-16.

Universidad Complutense de Madrid. Introducción a la Econometría [en línea] <<https://www.ucm.es/data/cont/docs/518-2013-11-13-noparam.pdf>>.

Universidad Complutense de Madrid. Contrastes no paramétricos [en línea] <<https://www.ucm.es/data/cont/docs/518-2013-11-13-noparam.pdf>>

Universidad de la República (Uruguay). Departamento de Ciencias de la Atmosfera, Instituto de Física – Facultad de Ciencias. Análisis Estadístico de Datos Climáticos [en línea] <[http://meteo.fisica.edu.uy/Materias/Analisis Estadístico de Datos Climáticos/2013/Pruebas de Hipotesis AEDC 2013.pdf](http://meteo.fisica.edu.uy/Materias/Analisis%20Estadistico%20de%20Datos%20Climaticos/2013/Pruebas%20de%20Hipotesis%20AEDC%202013.pdf)>.

Universidad de Talca. Apuntes. Capítulo 12: Métodos no Paramétricos [En línea]. <<http://ftp.otalca.cl/profesores/gicaza/Apuntes%20PDF/Apuntes%20Cap%2012%20Metodos%20no%20parametricos.pdf>>. [Consulta: 25 de abril 2017].

Universidad de Valencia (España). Supuestos Paramétricos [en línea] <<https://www.uv.es/~friasnav/SupuestosParametrica.pdf>>.

Universitat Politècnica de Catalunya (España). El error tipo II en el análisis de la significación de los efectos [en línea] <<http://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/93818/07Gla7de10.pdf?sequence=7&isAllowed=y>>.

XLSTAT (herramienta estadística), Tutoriales. [en línea]. <[https://help.xlstat.com/customer/es/portal/articles?b\\_id=9283](https://help.xlstat.com/customer/es/portal/articles?b_id=9283)>. [mayo-octubre 2017].

ANEXOS

ANEXO A: PLANILLAS DE RENDIMIENTO

ANEXO A.1: OBRA RESIDENCIA-SAN PEDRO DE ATACAMA

ANEXO A.1.1: ENFIERRADURA

PROYECTO ALMA				ENFIERRADURA					
Promedio		77,972				Unidad	Kg/HD		
Varianza		1593,60923							
Desviacion Estándar		39,9200354							
Inicio	Final	# cuadrilla	Avance real [kg]	Rendimiento kg/HD	Avance teórico [kg]	Avance Acumulado Teórico	Avance Acumulado Real	Variación Avances	PF
10-06-16	14-06-16	6,600	925,204	140,182	52488,129	52488,129	23458,038	29030,091	56,731
15-06-16	19-06-16	10,600	2010,145	189,636	10930,265	63418,394	31582,981	31835,413	5,438
20-06-16	24-06-16	13,400	2080,919	155,292	8610,161	72028,555	42038,407	29990,147	4,138
25-06-16	29-06-16	15,200	1010,754	66,497	8401,956	80430,510	49410,055	31020,455	8,313
30-06-16	04-07-16	15,000	909,284	60,619	6562,862	86993,373	53401,546	33591,827	7,218
05-07-16	09-07-16	9,400	641,163	68,209	2989,430	89982,803	56996,175	32986,628	4,663
10-07-16	14-07-16	12,600	733,664	58,227	2532,029	92514,832	61017,109	31497,724	3,451
15-07-16	19-07-16	11,800	727,876	61,684	2532,029	95046,862	64065,533	30981,328	3,479
20-07-16	24-07-16	12,000	704,591	58,716	2281,709	97328,570	68088,886	29239,684	3,238
25-07-16	29-07-16	12,000	601,156	50,096	2257,128	99585,698	71289,452	28296,247	3,755
30-07-16	03-08-16	12,000	437,450	36,454	4726,689	104312,387	73648,972	30663,415	10,805
04-08-16	08-08-16	9,400	642,641	68,366	6450,631	110763,019	76316,674	34446,344	10,038
09-08-16	13-08-16	9,400	863,609	91,873	7537,992	118301,011	80359,554	37941,457	8,728
14-08-16	18-08-16	13,600	1539,608	113,206	8839,987	127140,998	86434,609	40706,389	5,742
19-08-16	23-08-16	12,600	1462,377	116,062	10193,516	137334,514	94619,441	42715,072	6,971
24-08-16	28-08-16	14,000	1039,834	74,274	8258,691	145593,205	100168,150	45425,055	7,942
29-08-16	02-09-16	14,400	1019,953	70,830	7634,771	153227,976	105560,506	47667,470	7,485
03-09-16	07-09-16	11,600	750,794	64,724	7514,692	160742,668	109633,477	51109,191	10,009
08-09-16	12-09-16	12,000	1431,225	119,269	6683,816	167426,484	115251,827	52174,656	4,670
13-09-16	17-09-16	10,800	959,291	88,823	5040,176	172466,659	121119,100	51347,560	5,254
18-09-16	22-09-16	10,200	468,908	45,971	4004,458	176471,117	124320,289	52150,828	8,540
23-09-16	27-09-16	20,800	685,909	32,976	4096,455	180567,571	127538,515	53029,057	5,972
28-09-16	02-10-16	19,000	1454,133	76,533	4084,461	184652,032	132762,500	51889,532	2,809
03-10-16	07-10-16	17,000	1098,840	64,638	3944,212	188596,244	140183,226	48413,018	3,589
08-10-16	12-10-16	20,200	596,147	29,512	4106,677	192702,921	143608,951	49093,971	6,889
13-10-16	17-10-16	6,800	167,200	24,588	2811,098	195514,019	145161,041	50352,978	16,813
<b>PROMEDIOS</b>		<b>12,785</b>		<b>77,972</b>					<b>8,565</b>
<b>MAX ABS</b>								<b>53029,057</b>	

ANEXO A.1.2: MOLDAJE

PROYECTO ALMA										MOLDAJE	
Promedio	5,44959851									Unidad	m2/HD
Varianza	10,2097207										
Desviacion Estándar	3,19526536										
Inicio	Final	Personas	Avance real [m2]	Rendimiento [m2/HD]	Avance teórico [m2]	Avance Acumulado Teórico	Avance Acumulado Real	Variación Avances	PF		
19-06-15	23-06-15	15,000	40,108	2,674	4861,336	4861,336	266,214	4595,122	121,206		
24-06-15	28-06-15	7,000	47,072	6,725	884,039	5745,374	464,086	5281,288	18,781		
29-06-15	03-07-15	7,000	47,421	6,774	479,363	6224,737	655,611	5569,125	10,109		
04-07-15	08-07-15	8,200	53,076	6,473	331,533	6556,269	951,814	5604,456	6,246		
09-07-15	13-07-15	13,000	119,383	9,183	419,582	6975,852	1374,003	5601,849	3,515		
14-07-15	18-07-15	13,000	215,035	16,541	420,140	7395,992	2340,070	5055,922	1,954		
19-07-15	23-07-15	21,800	111,648	5,121	412,718	7808,710	3148,168	4660,542	3,697		
24-07-15	28-07-15	24,000	122,232	5,093	557,166	8365,876	3598,724	4767,153	4,558		
29-07-15	02-08-15	22,000	81,363	3,698	763,190	9129,066	4172,774	4956,292	9,380		
03-08-15	07-08-15	15,000	55,460	3,697	484,659	9613,725	4425,970	5187,755	8,739		
08-08-15	12-08-15	21,400	129,410	6,047	468,605	10082,330	4991,212	5091,118	3,621		
13-08-15	17-08-15	21,000	134,888	6,423	596,496	10678,826	5598,859	5079,966	4,422		
18-08-15	22-08-15	16,000	147,777	9,236	510,357	11189,183	6327,202	4861,980	3,454		
23-08-15	27-08-15	18,000	34,032	1,891	619,122	11808,305	6730,851	5077,454	18,193		
28-08-15	01-09-15	23,200	57,818	2,492	733,879	12542,184	7014,798	5527,386	12,693		
02-09-15	06-09-15	22,800	39,210	1,720	879,109	13421,293	7226,112	6195,181	22,421		
07-09-15	11-09-15	17,000	140,580	8,269	788,270	14209,564	7806,989	6402,575	5,607		
12-09-15	16-09-15	11,000	40,585	3,690	716,871	14926,435	8157,885	6768,550	17,664		
17-09-15	21-09-15	6,000	17,547	2,925	642,220	15568,655	8228,194	7340,461	36,600		
22-09-15	26-09-15	28,750	85,965	2,990	428,541	15997,196	8556,987	7440,209	4,985		
27-09-15	01-10-15	28,000	195,940	6,998	344,534	16341,730	9398,593	6943,137	1,758		
02-10-15	06-10-15	24,000	144,729	6,030	282,287	16624,017	10183,901	6440,116	1,950		
07-10-15	11-10-15	22,200	104,254	4,696	285,811	16909,827	10741,943	6167,884	2,741		
12-10-15	16-10-15	28,400	59,024	2,078	188,138	17097,965	11131,648	5966,317	3,187		
17-10-15	21-10-15	26,000	124,140	4,775	113,906	17211,871	11619,248	5592,623	0,918		
<b>PROMEDIOS</b>		<b>18,390</b>		<b>5,450</b>					<b>13,136</b>		
<b>MAX ABS</b>								<b>7440,209</b>			

ANEXO A.1.3: HORMIGÓN

PROYECTO ALMA				HORMIGÓN					
						Unidad	m3/HD		
Promedio			4,293						
Varianza			3,35179758						
Desviación Estándar			1,83079152						
Inicio	Final	Personas	Avance real [m3]	Rendimiento [m3/HD]	Avance teórico [m3]	Avance Acumulado Teórico	Avance Acumulado Real	Variación Avances	PF
02-07-15	06-07-15	4,600	25,800	5,609	1006,932	1006,932	305,400	701,532	39,028
07-07-15	11-07-15	2,600	19,667	7,564	48,713	1055,645	389,600	666,045	2,477
12-07-15	16-07-15	2,600	26,000	10,000	20,534	1076,180	437,900	638,280	0,790
17-07-15	21-07-15	4,400	16,400	3,727	36,381	1112,561	540,100	572,461	2,218
22-07-15	26-07-15	4,600	18,900	4,109	42,682	1155,243	620,800	534,443	2,258
27-07-15	31-07-15	2,400	11,667	4,861	42,682	1197,925	690,700	507,225	3,658
01-08-15	05-08-15	2,800	22,000	7,857	44,978	1242,903	736,000	506,903	2,044
06-08-15	10-08-15	4,200	9,500	2,262	69,229	1312,132	787,900	524,232	7,287
11-08-15	15-08-15	2,800	11,500	4,107	58,806	1370,938	830,100	540,838	5,114
16-08-15	20-08-15	4,400	23,625	5,369	81,269	1452,207	893,400	558,807	3,440
21-08-15	25-08-15	4,000	18,750	4,688	108,508	1560,715	963,500	597,215	5,787
26-08-15	30-08-15	4,400	16,375	3,722	96,242	1656,957	1044,100	612,857	5,877
31-08-15	04-09-15	4,600	24,333	5,290	77,502	1734,459	1119,700	614,759	3,185
05-09-15	09-09-15	2,400	7,333	3,056	84,108	1818,568	1168,900	649,668	11,469
10-09-15	14-09-15	5,600	26,125	4,665	88,051	1906,619	1229,700	676,919	3,370
20-09-15	24-09-15	0,800	5,500	6,875	130,731	2037,350	1283,300	754,050	23,769
25-09-15	29-09-15	4,600	16,700	3,630	38,704	2076,054	1348,600	727,454	2,318
30-09-15	04-10-15	7,200	27,200	3,778	39,788	2115,842	1444,700	671,142	1,463
05-10-15	09-10-15	4,600	14,900	3,239	56,911	2172,753	1554,300	618,453	3,820
10-10-15	14-10-15	3,000	7,300	2,433	59,986	2232,739	1605,800	626,939	8,217
15-10-15	19-10-15	2,400	2,900	1,208	48,739	2281,478	1623,400	658,078	16,807
20-10-15	24-10-15	3,800	12,400	3,263	18,039	2299,517	1656,100	643,417	1,455
25-10-15	29-10-15	4,800	15,700	3,271	0,000	2299,517	1744,600	554,917	0,000
30-10-15	03-11-15	3,600	8,900	2,472	0,000	2299,517	1794,000	505,517	0,000
04-11-15	08-11-15	3,800	12,400	3,263	1,114	2300,631	1848,000	452,631	0,090
09-11-15	13-11-15	3,600	12,800	3,556	4,696	2305,327	1895,700	409,627	0,367
14-11-15	18-11-15	3,000	12,400	4,133	2,982	2308,309	1992,300	316,009	0,241
19-11-15	23-11-15	3,800	13,500	3,553	14,703	2323,012	2064,500	258,512	1,089
24-11-15	28-11-15	2,800	8,900	3,179	38,062	2361,074	2093,700	267,374	4,277
29-11-15	03-12-15	6,600	26,700	4,045	41,216	2402,290	2222,400	179,890	1,544
PROMEDIOS		3,827		4,293				754,050	5,449
MAX ABS									

ANEXO A.1.4: TABIQUERIA MONTAJE

PROYECTO ALMA				TABIQUERIA Montaje		
Promedio		5,054			Unidad	m2/HD
Varianza		4,31961449				
Desviacion Estándar		2,07836823				
Inicio	Personas	Avance real	Rendimiento [m2/HD]	Avance Acumulado Teórico	Avance Acumulado Real	Promedio Rendimiento
21-04-16	4,0	13,118	3,279	1284,200	823,218	5,054
22-04-16	4,0	23,145	5,786	1284,200	846,363	5,054
23-04-16	4,0	23,600	5,900	1284,200	869,963	5,054
24-04-16	3,0	9,560	3,187	1284,200	898,863	5,054
25-04-16	3,0	9,780	3,260	1284,200	908,513	5,054
26-04-16	3,5	9,560	2,731	1284,200	917,643	5,054
27-04-16	2,5	9,650	3,860	1284,200	934,533	5,054
28-04-16	2,5	9,130	3,652	1284,200	960,433	5,054
29-04-16	3,0	16,890	5,630	1284,200	989,383	5,054
30-04-16	4,0	25,900	6,475	1299,500	1018,783	5,054
01-05-16	4,0	28,950	7,238	1314,800	1050,383	5,054
02-05-16	4,0	29,400	7,350	1330,100	1079,013	5,054
03-05-16	4,0	31,600	7,900	1345,400	1100,953	5,054
04-05-16	4,0	28,630	7,158	1360,700	1119,623	5,054
05-05-16	4,0	21,940	5,485	1376,000	1128,783	5,054
06-05-16	4,0	18,670	4,668	1391,300	1138,263	5,054
07-05-16	2,5	9,160	3,664	1406,600	1156,903	5,054
08-05-16	2,5	9,480	3,792	1406,600	1176,553	5,054
09-05-16	4,0	18,640	4,660	1406,600	1198,419	5,054
10-05-16	4,0	19,650	4,913	1406,600	1220,369	5,054
11-05-16	4,0	21,866	5,467	1406,600	1246,949	5,054
12-05-16	3,5	21,950	6,271	1406,600	1256,599	5,054
13-05-16	4,0	26,580	6,645	1406,600	1256,599	5,054
14-05-16	3,5	9,650	2,757	1406,600	1256,599	5,054
15-05-16	2,5	0,000	0,000	1406,600	1282,741	5,054
16-05-16	2,5	0,000	0,000	1406,600	1310,945	5,054
17-05-16	4,0	26,142	6,535	1406,600	1334,485	5,054
18-05-16	3,5	28,204	8,058	1421,900	1361,435	5,054
19-05-16	3,5	23,540	6,726	1437,200	1388,975	5,054
20-05-16	4,0	26,950	6,738	1452,500	1398,515	5,054
21-05-16	4,0	27,540	6,885	1467,800	1408,165	5,054
<b>PROMEDIOS</b>		<b>18,673</b>		<b>1362,181</b>		
<b>MAX ABS</b>						

ANEXO A.1.5: TABIQUERIA IN SITU

PROYECTO ALMA				TABIQUERIA In Situ		
Promedio		3,75271605			Unidad	m2/HD
Varianza		0,46309918				
Desviacion Estándar		0,68051391				
Inicio	Personas	Avance real	Rendimiento	Avance Acumulado Teórico	Avance Acumulado Real	Promedio Rendimiento
28-03-16	2,0	6,500	3,250	11,200	6,500	3,753
29-03-16	2,0	6,800	3,400	22,200	13,300	3,753
30-03-16	2,0	6,600	3,300	33,700	19,900	3,753
31-03-16	2,0	8,400	4,200	44,900	28,300	3,753
01-04-16	2,0	8,600	4,300	56,500	36,900	3,753
02-04-16	2,0	9,400	4,700	67,400	46,300	3,753
03-04-16	2,0	9,200	4,600	78,200	55,500	3,753
04-04-16	2,0	8,460	4,230	88,200	63,960	3,753
05-04-16	2,0	7,600	3,800	99,200	71,560	3,753
06-04-16	2,0	8,200	4,100	110,700	79,760	3,753
07-04-16	2,0	8,400	4,200	122,300	88,160	3,753
08-04-16	2,0	7,900	3,950	132,400	96,060	3,753
09-04-16	2,0	7,200	3,600	142,400	103,260	3,753
10-04-16	2,0	6,200	3,100	152,400	109,460	3,753
11-04-16	1,5	6,600	4,400	163,400	116,060	3,753
12-04-16	1,5	5,600	3,733	174,900	121,660	3,753
13-04-16	2,0	4,700	2,350	184,700	126,360	3,753
14-04-16	2,0	5,100	2,550	194,500	131,460	3,753
15-04-16	2,0	4,900	2,450	205,000	136,360	3,753
16-04-16	2,0	5,600	2,800	215,000	141,960	3,753
17-04-16	2,0	6,600	3,300	226,300	148,560	3,753
18-04-16	2,0	7,200	3,600	237,900	155,760	3,753
19-04-16	2,0	7,800	3,900	249,300	163,560	3,753
20-04-16	2,0	9,020	4,510	261,300	172,580	3,753
21-04-16	2,0	8,900	4,450	270,700	181,480	3,753
22-04-16	2,0	8,700	4,350	280,100	190,180	3,753
23-04-16	2,0	8,400	4,200	289,500	198,580	3,753

ANEXO A.2: OBRA CLÍNICA-TALCA  
ANEXO A.2.1: ENFIERRADURA

PROYECTO CLINICA LIRCAY										ENFIERRADURA	
Promedio			97,549							Unidad	Kg/HD
Varianza			4780,79319								
Desviación Estándar			69,1432802								
Inicio	Final	Personas	Avance real [kg]	Rendimiento [kg]	Avance teórico [kg]	Avance Acumulado o Teórico	Avance Acumulado o Real	Variación	PF		
26-09-11	02-10-11	15,000	1295,965	86,398	11627,400	11627,400	1295,965	10331,435	8,972		
03-10-11	09-10-11	25,000	3239,913	129,597	8770,865	20398,265	4535,878	15862,388	2,707		
10-10-11	16-10-11	18,000	3628,700	201,594	4632,613	25030,878	8164,578	16866,301	1,277		
17-10-11	23-10-11	24,000	4795,070	199,795	10419,333	35450,211	12959,648	22490,564	2,173		
24-10-11	30-10-11	21,000	5213,620	248,268	2732,970	38183,181	18173,268	20009,913	0,524		
31-10-11	06-11-11	21,000	5162,890	245,852	7787,315	45970,496	23336,158	22634,339	1,508		
07-11-11	13-11-11	45,000	8296,920	184,376	8950,606	54921,102	31633,078	23288,024	1,079		
14-11-11	20-11-11	44,000	2321,000	52,750	3874,794	58795,896	33954,078	24841,819	1,669		
21-11-11	27-11-11	38,000	1894,919	49,866	1582,766	60378,662	35848,997	24529,665	0,835		
28-11-11	04-12-11	45,000	992,123	22,047	6103,132	66481,795	36841,120	29640,674	6,152		
05-12-11	11-12-11	45,000	1712,093	38,047	3546,109	70027,904	38553,214	31474,690	2,071		
12-12-11	18-12-11	54,000	6215,704	115,106	3795,388	73823,292	44768,917	29054,375	0,611		
19-12-11	25-12-11	45,000	2071,901	46,042	2609,329	76432,622	46840,818	29591,803	1,259		
26-12-11	01-01-12	38,000	6674,611	175,648	2523,903	78956,525	53515,429	25441,095	0,378		
02-01-12	08-01-12	41,000	1485,811	36,239	1385,564	80342,089	55001,241	25340,848	0,933		
09-01-12	15-01-12	52,000	1921,510	36,952	2912,297	83254,385	56922,751	26331,634	1,516		
16-01-12	22-01-12	38,000	5273,000	138,763	2568,192	85822,577	62195,751	23626,826	0,487		
23-01-12	29-01-12	60,000	3924,007	65,400	1792,260	87614,837	66119,758	21495,079	0,457		
30-01-12	05-02-12	47,000	4679,310	99,560	2186,381	89801,218	70799,068	19002,150	0,467		
06-02-12	12-02-12	46,000	2870,690	62,406	9888,706	99689,924	73669,758	26020,166	3,445		
13-02-12	19-02-12	47,000	2710,690	57,674	4278,875	103968,799	76380,448	27588,351	1,579		
20-02-12	26-02-12	46,000	2017,640	43,862	3612,733	107581,532	78398,088	29183,444	1,791		
27-02-12	04-03-12	44,000	1713,640	38,946	1471,956	109053,488	80111,728	28941,760	0,859		
05-03-12	11-03-12	41,000	1304,920	31,827	5161,354	114214,842	81416,648	32798,194	3,955		
12-03-12	18-03-12	30,000	3348,480	111,616	2122,449	116337,291	84765,128	31572,163	0,634		
19-03-12	25-03-12	28,000	1523,630	54,415	2682,321	119019,611	86288,758	32730,854	1,760		
26-03-12	01-04-12	24,000	1458,640	60,777	2185,435	121205,046	87747,398	33457,648	1,498		
<b>PROMEDIOS</b>		<b>37,852</b>		<b>97,549</b>					<b>1,874</b>		
<b>MAX ABS</b>								<b>33457,648</b>			

ANEXO A.2.2: MOLDAJE

PROYECTO CLINICA LIRCAY											MOLDAJE		
											Unidad	m2/HD	
Promedio										3,038			
Varianza										3,25772539			
Desviacion Estándar										1,804917			
Inicio	Final	Personas	Avance real [m2]	Rendimiento [m2/HD]	Avance teorico [m2]	Avance Acumulad o Teórico	Avance Acumulad o Real	Variación	Avances	PF			
19-06-12	23-06-16	62,000	123,290	1,989	216,260	216,260	123,290	92,970	1,754				
24-06-12	28-06-16	72,000	19,880	0,276	182,126	398,386	143,170	255,216	9,161				
29-06-12	03-07-16	57,000	207,880	3,647	828,780	1227,166	351,050	876,116	3,987				
04-07-12	08-07-16	41,000	207,960	5,072	413,286	1640,452	559,010	1081,442	1,987				
09-07-12	13-07-16	34,000	33,420	0,983	900,908	2541,360	592,430	1948,930	26,957				
14-07-12	18-07-16	110,000	276,090	2,510	1022,532	3563,891	868,520	2695,371	3,704				
19-07-12	23-07-16	83,000	383,000	4,614	235,286	3799,177	1251,520	2547,657	0,614				
24-07-12	28-07-16	127,000	173,180	1,364	340,660	4139,838	1424,700	2715,138	1,967				
29-07-12	02-08-16	117,000	332,400	2,841	565,959	4705,797	1757,100	2948,697	1,703				
03-08-12	07-08-16	99,000	105,550	1,066	519,155	5224,952	1862,650	3362,302	4,919				
08-08-12	12-08-16	129,000	632,110	4,900	338,089	5563,041	2494,760	3068,281	0,535				
13-08-12	17-08-16	92,000	137,090	1,490	236,990	5800,031	2631,850	3168,181	1,729				
18-08-12	22-08-16	74,000	351,820	4,754	316,798	6116,828	2983,670	3133,158	0,900				
23-08-12	27-08-16	63,000	38,000	0,603	340,433	6457,262	3021,670	3435,592	8,959				
28-08-12	01-09-16	139,000	625,000	4,496	383,375	6840,637	3646,670	3193,967	0,613				
02-09-12	06-09-16	108,000	712,200	6,594	347,032	7187,669	4358,870	2828,799	0,487				
07-09-12	11-09-16	105,000	295,878	2,818	697,751	7885,420	4654,748	3230,672	2,358				
12-09-12	16-09-16	98,000	539,374	5,504	273,156	8158,576	5194,122	2964,454	0,506				
17-09-12	21-09-16	119,000	208,541	1,752	1733,084	9891,660	5402,663	4488,997	8,311				
22-09-12	26-09-16	119,000	286,620	2,409	512,982	10404,642	5689,284	4715,358	1,790				
27-09-12	01-10-16	125,000	806,692	6,454	488,100	10892,741	6495,976	4396,766	0,605				
02-10-12	06-10-16	124,000	345,792	2,789	321,153	11213,894	6841,768	4372,127	0,929				
07-10-12	11-10-16	117,000	234,453	2,004	807,504	12021,398	7076,221	4945,178	3,444				
12-10-12	16-10-16	112,000	314,692	2,810	325,822	12347,220	7390,913	4956,307	1,035				
17-10-12	21-10-16	122,000	269,329	2,208	340,184	12687,404	7660,242	5027,162	1,263				
<b>PROMEDIOS</b>		<b>97,920</b>		<b>3,038</b>						<b>3,609</b>			
<b>MAX ABS</b>								<b>5027,162</b>					

ANEXO A.2.3: HORMIGÓN

PROYECTO CLINICA LIRCAY				HORMIGÓN					
Promedio	2,245			Unidad	m3/HD				
Varianza	1,32291528								
Desviacion Estándar	1,15018054								
Inicio	Final	Personas	Avance real [m3]	Rendimiento [m3/HD]	Avance teórico [m3]	Avance Acumulado o Teórico	Avance Acumulado o Real	Variación	PF
03-10-11	08-10-11	19,000	33,000	1,737	34,500	34,500	33,000	1,500	1,045
09-10-11	14-10-11	23,000	50,500	2,196	41,910	76,410	83,500	-7,090	0,830
15-10-11	20-10-11	20,000	26,000	1,300	25,633	102,043	109,500	-7,458	0,986
21-10-11	26-10-11	18,000	20,000	1,111	21,308	123,351	129,500	-6,150	1,065
27-10-11	01-11-11	14,000	53,500	3,821	52,565	175,916	183,000	-7,084	0,983
02-11-11	07-11-11	15,000	13,000	0,867	13,000	188,916	196,000	-7,084	1,000
08-11-11	13-11-11	34,000	15,000	0,441	12,125	201,041	211,000	-9,959	0,808
14-11-11	19-11-11	15,000	73,500	4,900	73,542	274,583	284,500	-9,917	1,001
20-11-11	25-11-11	22,000	53,500	2,432	46,175	320,758	338,000	-17,242	0,863
26-11-11	01-12-11	25,000	19,500	0,780	19,500	340,258	357,500	-17,242	1,000
02-12-11	07-12-11	31,000	58,000	1,871	45,650	385,908	415,500	-29,592	0,787
08-12-11	13-12-11	27,000	94,000	3,481	85,905	471,813	509,500	-37,687	0,914
14-12-11	19-12-11	13,000	35,500	2,731	20,845	492,658	545,000	-52,342	0,587
20-12-11	25-12-11	15,000	49,000	3,267	37,163	529,821	594,000	-64,179	0,758
26-12-11	31-12-11	10,000	23,000	2,300	22,645	552,466	617,000	-64,534	0,985
01-01-12	06-01-12	18,000	88,000	4,889	86,120	638,586	705,000	-66,414	0,979
07-01-12	12-01-12	17,000	30,000	1,765	29,116	667,702	735,000	-67,298	0,971
13-01-12	18-01-12	29,000	69,500	2,397	66,584	734,286	804,500	-70,214	0,958
19-01-12	24-01-12	20,000	41,000	2,050	18,057	752,343	845,500	-93,157	0,440
25-01-12	30-01-12	23,000	38,000	1,652	21,400	773,743	883,500	-109,757	0,563
31-01-12	05-02-12	19,000	72,000	3,789	34,386	808,129	955,500	-147,371	0,478
06-02-12	11-02-12	20,000	50,000	2,500	48,324	856,453	1005,500	-149,047	0,966
12-02-12	17-02-12	23,000	43,000	1,870	33,712	890,165	1048,500	-158,335	0,784
18-02-12	23-02-12	19,000	29,000	1,526	27,500	917,665	1077,500	-159,835	0,948
24-02-12	29-02-12	17,000	35,500	2,088	29,982	947,647	1113,000	-165,353	0,845
01-03-12	06-03-12	24,000	36,000	1,500	34,782	982,430	1149,000	-166,570	0,966
07-03-12	12-03-12	19,000	25,500	1,342	22,384	1004,814	1174,500	-169,686	0,878
<b>PROMEDIOS</b>		<b>20,333</b>		<b>2,245</b>					<b>0,866</b>
<b>MAX ABS</b>								<b>-169,686</b>	

ANEXO A.3: OBRA COLEGIO-SANTIAGO

ANEXO A.3.1: ENFIERRADURA

PROYECTO COLEGIO SANKT THOMAS MORUS								ENFIERRADURA	
Promedio		188,641						Unidad	Kg/HD
Varianza		6338,91647							
Desviacion Estándar		79,6173126							
Fecha	Cuadrillas	Avance real [kg]	Rendimiento kg/HD	Avance teórico [kg]	Avance Acumulad o Teórico	Avance Acumulad o Real	Variación Avances	PF	Rendimiento kg/HD
15-02-10	5	1173,000	234,600	913,000	913,000	1173,000	-260,000	0,778	234,600
16-02-10	5	1173,000	234,600	913,000	1826,000	2346,000	-520,000	0,778	234,600
17-02-10	5	1173,000	234,600	913,000	2739,000	3519,000	-780,000	0,778	234,600
18-02-10	5	1173,000	234,600	913,000	3652,000	4692,000	-1040,000	0,778	234,600
19-02-10	5	1173,000	234,600	913,000	4565,000	5865,000	-1300,000	0,778	234,600
22-02-10	5	1173,000	234,600	1467,000	6032,000	7038,000	-1006,000	1,251	95,600
23-02-10	5	1173,000	234,600	1467,000	7499,000	8211,000	-712,000	1,251	95,600
24-02-10	5	1173,000	234,600	1467,000	8966,000	9384,000	-418,000	1,251	156,700
25-02-10	5	1173,000	234,600	1467,000	10433,000	10557,000	-124,000	1,251	217,800
26-02-10	5	1173,000	234,600	1467,000	11900,000	11730,000	170,000	1,251	181,500
01-03-10	5	478,000	95,600	1654,000	1354,000	12208,000	1346,000	3,460	271,750
02-03-10	5	478,000	95,600	1654,000	15208,000	12686,000	2522,000	3,460	322,000
03-03-10	5	478,000	95,600	1654,000	16862,000	13164,000	3698,000	3,460	322,000
04-03-10	5	478,000	95,600	1654,000	18516,000	13642,000	4874,000	3,460	158,610
05-03-10	5	478,000	95,600	1654,000	20170,000	14120,000	6050,000	3,460	240,670
08-03-10	5	1089,000	217,800	2416,000	22586,000	15209,000	7377,000	2,219	176,440
09-03-10	5	1089,000	217,800	2016,000	24602,000	16298,000	8304,000	1,851	176,440
10-03-10	5	1089,000	217,800	2016,000	26618,000	17387,000	9231,000	1,851	126,390
11-03-10	6	1089,000	181,500	2016,000	28634,000	18476,000	10158,000	1,851	151,170
12-03-10	6	1089,000	181,500	2016,000	30650,000	19565,000	11085,000	1,851	233,290
15-03-10	6	1329,000	221,500	2540,000	33190,000	20894,000	12296,000	1,911	141,890
16-03-10	6	1932,000	322,000	2540,000	35730,000	22826,000	12904,000	1,315	105,780
17-03-10	6	1932,000	322,000	2540,000	38270,000	24758,000	13512,000	1,315	77,330
18-03-10	6	1932,000	322,000	2540,000	40810,000	26690,000	14120,000	1,315	180,500
19-03-10	6	1932,000	322,000	2540,000	43350,000	28622,000	14728,000	1,315	119,560
22-03-10	6	1932,000	322,000	2683,000	46033,000	30554,000	15479,000	1,389	
23-03-10	9	1932,000	214,667	2683,000	48716,000	32486,000	16230,000	1,389	
24-03-10	9	923,000	102,556	2683,000	51399,000	33409,000	17990,000	2,907	
25-03-10	9	2042,000	226,889	2683,000	54082,000	35451,000	18631,000	1,314	
26-03-10	9	2290,000	254,444	2683,000	56765,000	37741,000	19024,000	1,172	
29-03-10	9	1588,000	176,444	2717,000	59482,000	39329,000	20153,000	1,711	
30-03-10	9	1588,000	176,444	2717,000	62199,000	40917,000	21282,000	1,711	
31-03-10	9	1588,000	176,444	2717,000	64916,000	42505,000	22411,000	1,711	
01-04-10	9	1588,000	176,444	2717,000	67633,000	44093,000	23540,000	1,711	
05-04-10	9	1086,000	120,667	2407,000	70040,000	45179,000	24861,000	2,216	
06-04-10	9	1189,000	132,111	0,000	70040,000	46368,000	23672,000	0,000	
07-04-10	9	1347,000	149,667	0,000	70040,000	47715,000	22325,000	0,000	
08-04-10	9	1374,000	152,667	0,000	70040,000	49089,000	20951,000	0,000	
09-04-10	9	3449,000	383,222	0,000	70040,000	52538,000	17502,000	0,000	
12-03-10	9	752,000	83,556	0,000	70040,000	53290,000	16750,000	0,000	
13-03-10	9	1709,000	189,889	0,000	70040,000	54999,000	15041,000	0,000	
14-03-10	9	845,000	93,889	0,000	70040,000	55844,000	14196,000	0,000	
15-03-10	9	751,000	83,444	3209,000	73249,000	56595,000	16654,000	4,273	
16-03-10	9	1153,000	128,111	3209,000	76458,000	57748,000	18710,000	2,783	
19-04-10	9	542,000	60,222	3209,000	79667,000	58290,000	21377,000	5,921	
20-04-10	9	850,000	94,444	1866,000	81533,000	59140,000	22393,000	2,195	
21-04-10	9	2307,000	256,333	1866,000	83399,000	61447,000	21952,000	0,809	
22-04-10	9	942,000	104,667	1866,000	85265,000	62389,000	22876,000	1,981	
23-04-10	9	2565,000	285,000	1866,000	87131,000	64954,000	22177,000	0,727	
26-04-10	9	685,000	76,111	1866,000	88997,000	65639,000	23358,000	2,724	
27-04-10	9	1054,000	117,111	1678,000	90675,000	66693,000	23982,000	1,592	
28-04-10	9	1098,000	122,000	1678,000	92353,000	67791,000	24562,000	1,528	
<b>PROMEDIOS</b>	<b>7,154</b>		<b>188,641</b>					<b>1,654</b>	<b>188,961</b>
<b>MAX ABS</b>							<b>24861,000</b>		

ANEXO A.3.2: MOLDAJE

PROYECTO COLEGIO SANKT THOMAS MORUS								MOLDAJE	
Promedio		10,891						Unidad	m2/HD
Varianza		40,2566216							
Desviacion Estándar		6,34481061							
Fecha	Cuadrillas	Avance real [kg]	Rendimiento kg/HD	Avance teórico [kg]	Avance Acumulad o Teórico	Avance Acumulad o Real	Variación Avances	PF	Rendimiento kg/HD
15-02-10	2	41,000	20,500	43,000	43,000	41,000	2,000	1,049	20,500
16-02-10	2	41,000	20,500	43,000	86,000	82,000	4,000	1,049	20,500
17-02-10	2	41,000	20,500	43,000	129,000	123,000	6,000	1,049	22,000
18-02-10	2	41,000	20,500	43,000	172,000	164,000	8,000	1,049	23,500
19-02-10	2	41,000	20,500	43,000	215,000	205,000	10,000	1,049	23,500
22-02-10	2	47,000	23,500	47,000	262,000	252,000	10,000	1,000	10,500
23-02-10	2	47,000	23,500	47,000	309,000	299,000	10,000	1,000	10,500
24-02-10	2	47,000	23,500	47,000	356,000	346,000	10,000	1,000	10,500
25-02-10	2	47,000	23,500	47,000	403,000	393,000	10,000	1,000	10,500
26-02-10	2	47,000	23,500	47,000	450,000	440,000	10,000	1,000	4,730
01-03-10	2	21,000	10,500	47,000	497,000	461,000	36,000	2,238	5,400
02-03-10	2	21,000	10,500	47,000	544,000	482,000	62,000	2,238	5,400
03-03-10	2	21,000	10,500	47,000	591,000	503,000	88,000	2,238	5,620
04-03-10	2	21,000	10,500	47,000	638,000	524,000	114,000	2,238	5,840
05-03-10	2	21,000	10,500	47,000	685,000	545,000	140,000	2,238	5,800
08-03-10	2	21,000	10,500	68,000	753,000	566,000	187,000	3,238	5,800
09-03-10	2	21,000	10,500	68,000	821,000	587,000	234,000	3,238	7,250
10-03-10	2	21,000	10,500	68,000	889,000	608,000	281,000	3,238	8,700
11-03-10	4	21,000	5,250	68,000	957,000	629,000	328,000	3,238	0,550
12-03-10	5	21,000	4,200	68,000	1025,000	650,000	375,000	3,238	13,000
15-03-10	5	27,000	5,400	77,800	1102,800	677,000	425,800	2,881	5,400
16-03-10	5	27,000	5,400	77,800	1180,600	704,000	476,600	2,881	9,500
17-03-10	5	27,000	5,400	77,800	1258,400	731,000	527,400	2,881	12,250
18-03-10	5	27,000	5,400	77,800	1336,200	758,000	578,200	2,881	
19-03-10	5	27,000	5,400	77,800	1414,000	785,000	629,000	2,881	
22-03-10	5	29,200	5,840	89,600	1503,600	814,200	689,400	3,068	
23-03-10	5	29,200	5,840	89,600	1593,200	843,400	749,800	3,068	
24-03-10	5	29,200	5,840	89,600	1682,800	872,600	810,200	3,068	
25-03-10	5	29,200	5,840	89,600	1772,400	901,800	870,600	3,068	
26-03-10	5	29,200	5,840	89,600	1862,000	931,000	931,000	3,068	
29-03-10	5	29,000	5,800	87,600	1949,600	960,000	989,600	3,021	
30-03-10	5	29,000	5,800	87,600	2037,200	989,000	1048,200	3,021	
31-03-10	5	29,000	5,800	87,600	2124,800	1018,000	1106,800	3,021	
01-04-10	5	29,000	5,800	87,600	2212,400	1047,000	1165,400	3,021	
02-04-10	5	29,000	5,800	87,600	2300,000	1076,000	1224,000	3,021	
05-04-10	5	43,500	8,700	70,000	2370,000	1119,500	1250,500	1,609	
06-04-10	5	43,500	8,700	0,000	2370,000	1163,000	1207,000	0,000	
07-04-10	5	43,500	8,700	0,000	2370,000	1206,500	1163,500	0,000	
08-04-10	5	43,500	8,700	0,000	2370,000	1250,000	1120,000	0,000	
09-04-10	5	52,000	10,400	0,000	2370,000	1302,000	1068,000	0,000	
12-04-10	5	65,000	13,000	0,000	2370,000	1367,000	1003,000	0,000	
13-04-10	5	65,000	13,000	0,000	2370,000	1432,000	938,000	0,000	
14-04-10	5	27,000	5,400	0,000	2370,000	1459,000	911,000	0,000	
15-04-10	5	27,000	5,400	70,000	2440,000	1486,000	954,000	2,593	
16-04-10	4	27,000	6,750	70,000	2510,000	1513,000	997,000	2,593	
19-04-10	4	49,000	12,250	70,000	2580,000	1562,000	1018,000	1,429	
20-04-10	4	49,000	12,250	70,000	2650,000	1611,000	1039,000	1,429	
PROMEDIOS	3,766		10,891					1,960	10,750
MAX ABS							1250,500		

ANEXO A.3.3: HORMIGÓN

PROYECTO COLEGIO SANKT THOMAS MORUS								HORMIGON	
Promedio		102,946154						Unidad	m3/HD
Varianza		2948,57138							
Desviacion Estándar		54,3007494							
Fecha	Cuadrillas	Avance real [kg]	Rendimiento kg/HD	Avance teórico [kg]	Avance Acumulad o Teórico	Avance Acumulad o Real	Variación Avances	PF	Rendimiento kg/HD
18-02-10	2	11,000	5,500	0,000	0,000	11,000	-11,000	0,000	5,500
19-02-10	2	11,000	5,500	23,600	23,600	22,000	1,600	2,145	16,500
22-02-10	2	33,000	16,500	60,000	83,600	55,000	28,600	1,818	16,500
23-02-10	2	33,000	16,500	60,000	143,600	88,000	55,600	1,818	16,500
24-02-10	2	33,000	16,500	60,000	203,600	121,000	82,600	1,818	32,150
25-02-10	2	33,000	16,500	60,000	263,600	154,000	109,600	1,818	32,150
03-03-10	2	0,000	0,000	312,000	575,600	154,000	421,600	0,000	12,590
04-03-10	2	64,000	32,000	84,000	659,600	218,000	441,600	1,313	5,800
05-03-10	2	64,300	32,150	84,000	743,600	282,300	461,300	1,306	5,800
08-03-10	2	64,300	32,150	99,000	842,600	346,600	496,000	1,540	11,100
09-03-10	2	64,300	32,150	99,000	941,600	410,900	530,700	1,540	16,400
10-03-10	2	64,300	32,150	99,000	1040,600	475,200	565,400	1,540	16,400
11-03-10	4	64,300	16,075	99,000	1139,600	539,500	600,100	1,540	16,400
12-03-10	5	45,500	9,100	99,000	1238,600	585,000	653,600	2,176	16,700
15-03-10	5	29,000	5,800	108,000	1346,600	614,000	732,600	3,724	12,800
16-03-10	5	29,000	5,800	108,000	1454,600	643,000	811,600	3,724	15,700
17-03-10	5	29,000	5,800	108,000	1562,600	672,000	890,600	3,724	12,500
18-03-10	5	29,000	5,800	108,000	1670,600	701,000	969,600	3,724	11,350
19-03-10	5	29,000	5,800	108,000	1778,600	730,000	1048,600	3,724	11,350
22-03-10	5	82,000	16,400	124,000	1902,600	812,000	1090,600	1,512	10,500
23-03-10	5	82,000	16,400	124,000	2026,600	894,000	1132,600	1,512	14,350
24-03-10	5	82,000	16,400	124,000	2150,600	976,000	1174,600	1,512	14,350
25-03-10	5	82,000	16,400	124,000	2274,600	1058,000	1216,600	1,512	
26-03-10	5	82,000	16,400	124,000	2398,600	1140,000	1258,600	1,512	
29-03-10	5	82,000	16,400	139,000	2537,600	1222,000	1315,600	1,695	
30-03-10	5	82,000	16,400	139,000	2676,600	1304,000	1372,600	1,695	
31-03-10	5	82,000	16,400	139,000	2815,600	1386,000	1429,600	1,695	
01-04-10	5	85,000	17,000	139,000	2954,600	1471,000	1483,600	1,635	
02-04-10	5	64,000	12,800	139,000	3093,600	1535,000	1558,600	2,172	
05-04-10	5	64,000	12,800	112,000	3205,600	1599,000	1606,600	1,750	
06-04-10	5	64,000	12,800	0,000	3205,600	1663,000	1542,600	0,000	
07-04-10	5	64,000	12,800	0,000	3205,600	1727,000	1478,600	0,000	
08-04-10	5	94,000	18,800	0,000	3205,600	1821,000	1384,600	0,000	
09-04-10	5	63,000	12,600	0,000	3205,600	1884,000	1321,600	0,000	
12-04-10	5	61,000	12,200	0,000	3205,600	1945,000	1260,600	0,000	
13-04-10	5	64,000	12,800	0,000	3205,600	2009,000	1196,600	0,000	
14-04-10	4	45,400	11,350	0,000	3205,600	2054,400	1151,200	0,000	
15-04-10	4	45,400	11,350	112,000	3317,600	2099,800	1217,800	2,467	
16-04-10	4	45,400	11,350	112,000	3429,600	2145,200	1284,400	2,467	
19-04-10	4	45,400	11,350	112,000	3541,600	2190,600	1351,000	2,467	
20-04-10	4	45,400	11,350	112,000	3653,600	2236,000	1417,600	2,467	
21-04-10	4	38,600	9,650	91,600	3745,200	2274,600	1470,600	2,373	
22-04-10	4	57,380	14,345	91,600	3836,800	2331,980	1504,820	1,596	
23-04-10	4	57,380	14,345	91,600	3928,400	2389,360	1539,040	1,596	
26-04-10	4	57,380	14,345	91,600	4020,000	2446,740	1573,260	1,596	
PROMEDIOS	3,978		14,600					1,649	14,700
MAX ABS							1606,600		

ANEXO B: TABLAS ÍNDICES ESTADÍSTICOS

ANEXO B.1: SHAPIRO WILKS

n \ P	0.01	0.02	0.05	0.1	0.5	0.9	0.95	0.98	0.99
3	0.753	0.756	0.767	0.789	0.959	0.998	0.999	1.000	1.000
4	0.687	0.707	0.748	0.792	0.935	0.987	0.992	0.996	0.997
5	0.686	0.715	0.762	0.806	0.927	0.979	0.986	0.991	0.993
6	0.713	0.743	0.788	0.826	0.927	0.974	0.981	0.986	0.989
7	0.730	0.760	0.803	0.838	0.928	0.972	0.979	0.985	0.988
8	0.749	0.778	0.818	0.851	0.932	0.972	0.978	0.984	0.987
9	0.764	0.791	0.829	0.859	0.935	0.972	0.978	0.984	0.986
10	0.781	0.806	0.842	0.869	0.938	0.972	0.978	0.983	0.986
11	0.792	0.817	0.850	0.876	0.940	0.973	0.979	0.984	0.986
12	0.805	0.828	0.859	0.883	0.943	0.973	0.979	0.984	0.986
13	0.814	0.837	0.866	0.889	0.945	0.974	0.979	0.984	0.986
14	0.825	0.846	0.874	0.895	0.947	0.975	0.980	0.984	0.986
15	0.835	0.855	0.881	0.901	0.950	0.975	0.980	0.984	0.987
16	0.844	0.863	0.887	0.906	0.952	0.976	0.981	0.985	0.987
17	0.851	0.869	0.892	0.910	0.954	0.977	0.981	0.985	0.987
18	0.858	0.874	0.897	0.914	0.956	0.978	0.982	0.986	0.988
19	0.863	0.879	0.901	0.917	0.957	0.978	0.982	0.986	0.988
20	0.868	0.884	0.905	0.920	0.959	0.979	0.983	0.986	0.988
21	0.873	0.888	0.908	0.923	0.960	0.980	0.983	0.987	0.989
22	0.878	0.892	0.911	0.926	0.961	0.980	0.984	0.987	0.989
23	0.881	0.895	0.914	0.928	0.962	0.981	0.984	0.987	0.989
24	0.884	0.898	0.916	0.930	0.963	0.981	0.984	0.987	0.989
25	0.888	0.901	0.918	0.931	0.964	0.981	0.985	0.988	0.989
26	0.891	0.904	0.920	0.933	0.965	0.982	0.985	0.988	0.989
27	0.894	0.906	0.923	0.935	0.965	0.982	0.985	0.988	0.990
28	0.896	0.908	0.924	0.936	0.966	0.982	0.985	0.988	0.990
29	0.898	0.910	0.926	0.937	0.966	0.982	0.985	0.988	0.990
30	0.900	0.912	0.927	0.939	0.967	0.983	0.985	0.988	0.990
31	0.902	0.914	0.929	0.940	0.967	0.983	0.986	0.988	0.990
32	0.904	0.915	0.930	0.941	0.968	0.983	0.986	0.988	0.990
33	0.906	0.917	0.931	0.942	0.968	0.983	0.986	0.989	0.990
34	0.908	0.919	0.933	0.943	0.969	0.983	0.986	0.989	0.990
35	0.910	0.920	0.934	0.944	0.969	0.984	0.986	0.989	0.990
36	0.912	0.922	0.935	0.945	0.970	0.984	0.986	0.989	0.990
37	0.914	0.924	0.936	0.946	0.970	0.984	0.987	0.989	0.990
38	0.916	0.925	0.938	0.947	0.971	0.984	0.987	0.989	0.990
39	0.917	0.927	0.939	0.948	0.971	0.984	0.987	0.989	0.991
40	0.919	0.928	0.940	0.949	0.972	0.985	0.987	0.989	0.991
41	0.920	0.929	0.941	0.950	0.972	0.985	0.987	0.989	0.991
42	0.922	0.930	0.942	0.951	0.972	0.985	0.987	0.989	0.991
43	0.923	0.932	0.943	0.951	0.973	0.985	0.987	0.990	0.991
44	0.924	0.933	0.944	0.952	0.973	0.985	0.987	0.990	0.991
45	0.926	0.934	0.945	0.953	0.973	0.985	0.988	0.990	0.991
46	0.927	0.935	0.945	0.953	0.974	0.985	0.988	0.990	0.991
47	0.928	0.936	0.946	0.954	0.974	0.985	0.988	0.990	0.991
48	0.929	0.937	0.947	0.954	0.974	0.985	0.988	0.990	0.991
49	0.929	0.939	0.947	0.955	0.974	0.985	0.988	0.990	0.991
50	0.930	0.938	0.947	0.955	0.974	0.985	0.988	0.990	0.991

ANEXO B.2: TABLA DISTRIBUCIÓN CHI-CUADRADO (KRUSKAL-WALLIS)

$\frac{\pi}{d}$	0.995	0.99	0.975	0.95	0.9	0.75	0.5	0.25	0.1	0.05	0.025	0.01	0.005	$\frac{\pi}{d}$
1	3.93E-05	1.57E-04	9.82E-04	3.93E-03	1.58E-02	0.102	0.455	1.323	2.71	3.84	5.02	6.63	7.88	1
2	1.00E-02	2.01E-02	5.06E-02	0.102	0.211	0.575	1.386	2.77	4.61	5.99	7.38	9.21	10.60	2
3	7.17E-02	0.115	0.216	0.352	0.584	1.213	2.37	4.11	6.25	7.81	9.35	11.34	12.84	3
4	0.207	0.297	0.484	0.711	1.064	1.923	3.36	5.39	7.78	9.49	11.14	13.28	14.86	4
5	0.412	0.554	0.831	1.145	1.610	2.67	4.35	6.63	9.24	11.07	12.83	15.09	16.75	5
6	0.676	0.872	1.237	1.635	2.20	3.45	5.35	7.84	10.64	12.59	14.45	16.81	18.55	6
7	0.989	1.239	1.690	2.17	2.83	4.25	6.35	9.04	12.02	14.07	16.01	18.48	20.3	7
8	1.344	1.647	2.18	2.73	3.49	5.07	7.34	10.22	13.36	15.51	17.53	20.1	22.0	8
9	1.735	2.09	2.70	3.33	4.17	5.90	8.34	11.39	14.68	16.92	19.02	21.7	23.6	9
10	2.16	2.56	3.25	3.94	4.87	6.74	9.34	12.55	15.99	18.31	20.5	23.2	25.2	10
11	2.60	3.05	3.82	4.57	5.58	7.58	10.34	13.70	17.28	19.68	21.9	24.7	26.8	11
12	3.07	3.57	4.40	5.23	6.30	8.44	11.34	14.85	18.55	21.0	23.3	26.2	28.3	12
13	3.57	4.11	5.01	5.89	7.04	9.30	12.34	15.98	19.81	22.4	24.7	27.7	29.8	13
14	4.07	4.66	5.63	6.57	7.79	10.17	13.34	17.12	21.1	23.7	26.1	29.1	31.3	14
15	4.60	5.23	6.26	7.26	8.55	11.04	14.34	18.25	22.3	25.0	27.5	30.6	32.8	15
16	5.14	5.81	6.91	7.96	9.31	11.91	15.34	19.37	23.5	26.3	28.8	32.0	34.3	16
17	5.70	6.41	7.56	8.67	10.09	12.79	16.34	20.5	24.8	27.6	30.2	33.4	35.7	17
18	6.26	7.01	8.23	9.39	10.86	13.68	17.34	21.6	26.0	28.9	31.5	34.8	37.2	18
19	6.84	7.63	8.91	10.12	11.65	14.56	18.34	22.7	27.2	30.1	32.9	36.2	38.6	19
20	7.43	8.26	9.59	10.85	12.44	15.45	19.34	23.8	28.4	31.4	34.2	37.6	40.0	20
21	8.03	8.90	10.28	11.59	13.24	16.34	20.3	24.9	29.6	32.7	35.5	38.9	41.4	21
22	8.64	9.54	10.98	12.34	14.04	17.24	21.3	26.0	30.8	33.9	36.8	40.3	42.8	22
23	9.26	10.20	11.69	13.09	14.85	18.14	22.3	27.1	32.0	35.2	38.1	41.6	44.2	23
24	9.89	10.86	12.40	13.85	15.66	19.04	23.3	28.2	33.2	36.4	39.4	43.0	45.6	24
25	10.52	11.52	13.12	14.61	16.47	19.94	24.3	29.3	34.4	37.7	40.6	44.3	46.9	25
26	11.16	12.20	13.84	15.38	17.29	20.8	25.3	30.4	35.6	38.9	41.9	45.6	48.3	26
27	11.81	12.88	14.57	16.15	18.11	21.7	26.3	31.5	36.7	40.1	43.2	47.0	49.6	27
28	12.46	13.56	15.31	16.93	18.94	22.7	27.3	32.6	37.9	41.3	44.5	48.3	51.0	28
29	13.12	14.26	16.05	17.71	19.77	23.6	28.3	33.7	39.1	42.6	45.7	49.6	52.3	29
30	13.79	14.95	16.79	18.49	20.6	24.5	29.3	34.8	40.3	43.8	47.0	50.9	53.7	30
40	20.7	22.2	24.4	26.5	29.1	33.7	39.3	45.6	51.8	55.8	59.3	63.7	66.8	40
50	28.0	29.7	32.4	34.8	37.7	42.9	49.3	56.3	63.2	67.5	71.4	76.2	79.5	50
60	35.5	37.5	40.5	43.2	46.5	52.3	59.3	67.0	74.4	79.1	83.3	88.4	92.0	60
70	43.3	45.4	48.8	51.7	55.3	61.7	69.3	77.6	85.5	90.5	95.0	100.4	104.2	70
80	51.2	53.5	57.2	60.4	64.3	71.1	79.3	88.1	96.6	101.9	106.6	112.3	116.3	80
90	59.2	61.8	65.6	69.1	73.3	80.6	89.3	98.6	107.6	113.1	118.1	124.1	128.3	90
100	67.3	70.1	74.2	77.9	82.4	90.1	99.3	109.1	118.5	124.3	129.6	135.8	140.2	100
$Z_{\alpha}$	-2.58	-2.33	-1.96	-1.64	-1.28	-0.674	0.000	0.674	1.282	1.645	1.96	2.33	2.58	$Z_{\alpha}$

ANEXO C: RESULTADOS ANÁLISIS

ANEXO C.1: CONDICIONES PARAMÉTRICAS

ANEXO C.1.1: ENFIERRADURA

<b>TEST DE NORMALIDAD</b>							
<b>ESTADÍSTICOS DESCRIPTIVOS</b>							
Variable	Observaciones	Obs. con datos perdidos	Obs. sin datos perdidos	Mínimo	Máximo	Media	Desv. típica
ALMA	27	0	27	25	155	74	32
Lircay	27	0	27	22	248	98	69
Colegio	27	0	27	77	322	189	65
<b>Prueba de Shapiro-Wilk:</b>							
ALMA			C. Lircay			Colegio STM	
W	0,9227		W	0,8514		W	0,959
valor-p (bilat	0,0459		valor-p (bilat	0,0012		valor-p (bilat	0,358
alfa	0,05		alfa	0,05		alfa	0,05
Interpretación de la prueba:							
H0: La variable de la cual se extrajo la muestra sigue una distribución Normal.							
Ha: La variable de la cual se extrajo la muestra no sigue una distribución Normal.							
Si valor-p es menor a la significacion se debe rechazar la hipotesis nula, aceptando la hipotesis alterna.							
<b>TEST DE HOMOCEDESTICIDAD</b>							
<b>ESTADÍSTICOS DESCRIPTIVOS</b>							
Variable	Observations	Obs. with missing data	Obs. without missing data	Minimum	Maximum	Mean	Std. deviation
ALMA	27	0	27	24,588	155,292	73,505	32,149
Lircay	27	0	27	22,047	248,268	97,549	69,143
Colegio	27	0	27	77,333	322,000	188,641	64,987
<b>Prueba de Levene (Mediana)</b>							
F (Observed	4,591						
F (Critical val	3,114						
DF1	2						
DF2	78						
p-value (Two	0,013						
alpha	0,05						
H0: The variances are identical.							
Ha: At least one of the variances is different from another.							
Si valor-p es menor a la significacion se debe rechazar la hipotesis nula, aceptando la hipotesis alterna.							

ANEXO C.1.2: MOLDAJE

TEST DE NORMALIDAD							
ESTADISTICOS DESCRIPTIVOS							
Variable	Observaciones	Obs. con datos perdidos	Obs. sin datos perdidos	Mínimo	Máximo	Media	Desv. típica
ALMA	25,00	0,00	25,00	2,00	17,00	5,00	3,00
Lircay	25,00	0,00	25,00	0,00	7,00	3,00	2,00
Colegio	25,00	0,00	25,00	5,00	24,00	11,00	6,00
Prueba de Shapiro-Wilk:							
ALMA			C. Lircay			Colegio STM	
W	0,8540		W	0,9456		W	0,8130
valor-p (bilateral)	0,0021		valor-p (bilat	0,1992		valor-p (bilat	0,0004
alfa	0,05		alfa	0,05		alfa	0,05
Interpretación de la prueba:							
H0: La variable de la cual se extrajo la muestra sigue una distribución Normal.							
Ha: La variable de la cual se extrajo la muestra no sigue una distribución Normal.							
Si valor-p es menor a la significacion se debe rechazar la hipotesis nula, aceptando la hipotesis alterna.							
TEST DE HOMOCEASTICIDAD							
ESTADISTICOS DESCRIPTIVOS							
Variable	Observations	Obs. with missing data	Obs. without missing data	Minimum	Maximum	Mean	Std. deviation
ALMA	25	0	25	1,720	16,541	5,450	3,195
Lircay	25	0	25	0,276	6,594	3,038	1,805
Colegio	25	0	25	4,725	23,500	10,920	6,171
Prueba de Levene (Mediana)							
F (Observed value)	7,637						
F (Critical value)	3,124						
DF1	2						
DF2	72						
p-value (Two-tailed)	0,001						
alpha	0,05						
H0: The variances are identical.							
Ha: At least one of the variances is different from another.							
Si valor-p es menor a la significacion se debe rechazar la hipotesis nula, aceptando la hipotesis alterna.							

ANEXO C.1.3: HORMIGÓN

TEST DE NORMALIDAD							
ESTADISTICOS DESCRIPTIVOS							
Variable	Observaciones	Obs. con datos perdidos	Obs. sin datos perdidos	Mínimo	Máximo	Media	Desv. típica
ALMA	29,0	0,0	29,0	1,0	8,0	4,0	2,0
Lircay	29,0	0,0	29,0	0,0	5,0	2,0	1,0
Colegio.	29,0	0,0	29,0	6,0	17,0	13,0	3,0
Prueba de Shapiro-Wilk:							
ALMA			C. Lircay			Colegio STM	
W	0,9259		W	0,9306		W	0,8485
valor-p (bilateral)	0,0431		valor-p (bilat	0,0571		valor-p (bilat	0,0007
alfa	0,05		alfa	0,05		alfa	0,05
Interpretación de la prueba:							
H0: La variable de la cual se extrajo la muestra sigue una distribución Normal.							
Ha: La variable de la cual se extrajo la muestra no sigue una distribución Normal.							
Si valor-p es menor a la significacion se debe rechazar la hipotesis nula, aceptando la hipotesis alterna.							
TEST DE HOMOCEASTICIDAD							
ESTADISTICOS DESCRIPTIVOS							
Variable	Observations	Obs. with missing data	Obs. without missing data	Minimum	Maximum	Mean	Std. deviation
ALMA	30	0	30	1,208	7,857	4,096	1,480
Lircay	30	0	30	0,000	4,900	2,020	1,287
Colegio.	30	0	30	0,000	16,700	9,692	6,284
Prueba de Levene (Mediana)							
F (Observed value)	27,939						
F (Critical value)	3,101						
DF1	2						
DF2	87						
p-value (Two-tailed)	< 0,0001						
alfa	0,05						
H0: The variances are identical.							
Ha: At least one of the variances is different from another.							
Si valor-p es menor a la significacion se debe rechazar la hipotesis nula, aceptando la hipotesis alterna.							

## ANEXO C.2: ANÁLISIS COMPARATIVO

### ANEXO C.2.1: ENFIERRADURA

TEST KRUSKAL-WALLIS (MANUAL)							
ALMA	Suma del rango	737	nt:	79			
	Rango Promedio	28,3461538	Z Ri <sup>2</sup> /ni	142131,3			
	n	26	3*nt+1	240			
COLEGIO	Suma del rango	1561	Wtabla	5,9915			
	Rango Promedio	60,0384615					
	n	26	W	29,87	SE RECHAZA Ho		
LIRCAY	Suma del rango	862					
	Rango Promedio	31,9259259					
	n	27					
TEST KRUSKAL-WALLIS (XL-STAT)							
Estadísticos descriptivos:							
Variable	Observaciones	Obs. con datos perdidos	Obs. sin datos perdidos	Mínimo	Máximo	Media	Desv. típica
ALMA	27	2	25	24,59	155,29	73,50	33,46
Lircay	27	0	27	22,05	248,27	97,55	69,14
Colegio	27	1	26	77,33	322,00	188,64	66,27
Prueba de Kruskal-Wallis / Prueba bilateral:							
K (Valor observado)	31,3369						
K (Valor crítico)	5,9915						
GL	2						
valor-p (unilateral)	< 0,0001						
alfa	0,05						
H0: Las muestras vienen de la misma población. Ha: Las muestras no vienen de la misma población. Si valor-p es menor a la significacion se debe rechazar la hipotesis nula, aceptando la hipotesis alterna.							
TEST DUNN							
Muestra	Frecuencia	suma de rangos	media de rangos	Grupos			
ALMA	25	673,000	26,920	A			
Lircay	27	858,000	31,778	A			
Colegio	26	1550,000	59,615	B			
valores-p:							
	ALMA	Lircay	Colegio				
ALMA	1	0	< 0,0001				
Lircay	0	1	< 0,0001				
Colegio	< 0,0001	< 0,0001	1				
Nivel de significación corregido de Bonferroni: 0,0167							

ANEXO C.2.2: MOLDAJE

TEST KRUSKAL-WALLIS (MANUAL)							
ALMA	Suma del rango	921	nt:	74			
	Rango Promedio	36,84	Z Ri <sup>2</sup> /ni	120610,45			
	n	25	3*nt+1	225			
COLEGIO	Suma del rango	1358	Wtabla	5,9915			
	Rango Promedio	56,5833333					
	n	24	W	35,78	SE RECHAZA Ho		
LIRCAY	Suma del rango	496					
	Rango Promedio	19,84					
	n	25					
TEST KRUSKAL-WALLIS (XL-STAT)							
Estadísticos descriptivos:							
Variable	Observaciones	Obs. con datos perdidos	Obs. sin datos perdidos	Mínimo	Máximo	Media	Desv. típica
ALMA	25	0	25	1,72	16,54	5,45	3,20
Lircay	25	0	25	0,28	6,59	3,04	1,80
Colegio	25	0	25	4,73	23,50	10,92	6,30
Prueba de Kruskal-Wallis / Prueba bilateral:							
K (Valor observado)	36,997						
K (Valor crítico)	5,991						
GL	2						
valor-p (unilateral)	< 0,0001						
alfa	0,05						
H0: Las muestras vienen de la misma población.							
Ha: Las muestras no vienen de la misma población.							
Si valor-p es menor a la significacion se debe rechazar la hipotesis nula, aceptando la hipotesis alterna.							
TEST DUNN							
Muestra	Frecuencia	suma de rangos	media de rangos	Grupos			
Lircay	25	496,000	19,840	A			
ALMA	25	922,000	36,880	B			
Colegio	25	1432,000	57,280	C			
valores-p:							
	ALMA	Lircay	Colegio				
ALMA	1	0	0				
Lircay	0	1	< 0,0001				
Colegio	0	< 0,0001	1				
Nivel de significación corregido de Bonferroni: 0,0167							

ANEXO C.2.3: HORMIGÓN

TEST KRUSKAL-WALLIS (MANUAL)							
ALMA	Suma del rango	1147		nt:	80		
	Rango Promedio	38,233		Z Ri <sup>2</sup> /ni	162139,76		
	n	30		3*nt+1	243		
COLEGIO	Suma del rango	1580		Wtabla	5,9915		
	Rango Promedio	68,696					
	n	23		W	57,26	SE RECHAZA Ho	
LIRCAY	Suma del rango	513					
	Rango Promedio	19					
	n	27					
TEST KRUSKAL-WALLIS (XL-STAT)							
Estadísticos descriptivos:							
Variable	Observaciones	Obs. con datos perdidos	Obs. sin datos perdidos	Mínimo	Máximo	Media	Desv. típica
ALMA	29	0	29	1,21	7,86	4,10	1,51
Lircay	29	2	27	0,44	4,90	2,24	1,15
Colegio.	29	8	21	5,50	16,70	12,92	3,66
Prueba de Kruskal-Wallis / Prueba bilateral:							
K (Valor observado)	54,3876						
K (Valor crítico)	5,9915						
GL	2						
valor-p (unilateral)	< 0,0001						
alfa	0,05						
H0: Las muestras vienen de la misma población.							
Ha: Las muestras no vienen de la misma población.							
Si valor-p es menor a la significacion se debe rechazar la hipotesis nula, aceptando la hipotesis alterna.							
TEST DUNN							
Muestra	Frecuencia	suma de rangos	media de rangos	Grupos			
Lircay	27	501,000	18,556	A			
ALMA	29	1105,000	38,103	B			
Colegio.	21	1397,000	66,524	C			
valores-p:							
	ALMA	Lircay	Colegio				
ALMA	1	0	0				
Lircay	0	1	< 0,0001				
Colegio	0	< 0,0001	1				
Nivel de significación corregido de Bonferroni: 0,0167							