UNIVERSIDAD TECNICA FEDERICO SANTA MARIA

Repositorio Digital USM **https://repositorio.usm.cl**

Tesis USM TESIS de Pregrado de acceso ABIERTO

2018

PROPUESTA Y ESTUDIO DE MÉTODO DE MEDICIÓN DE PRODUCTIVIDAD PARA OBRAS CIVILES

CALDERA LE CLERCQ, FELIPE TOMÁS

http://hdl.handle.net/11673/42278

Repositorio Digital USM, UNIVERSIDAD TECNICA FEDERICO SANTA MARIA

UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA
DEPARTAMENTO DE OBRAS CIVILES

Propuesta y Estudio de Método de Medición de Productividad para Obras Civiles

Memoria de Titulación presentada por
FELIPE TOMÁS CALDERA LE CLERCQ

Como requisito parcial para optar al título de
INGENIERO CIVIL

Profesor Guía
RAUL GALINDO URRA

Octubre de 2015

RESUMEN

La fuerte competencia en el rubro de la construcción ha forzado a las empresas en Chile a tratar de entregar obras con mayor calidad en sus detalles y de disminuir costos en comparación a la competencia. Las mediciones de productividad han sido una importante herramienta para este proceso de mejora que toda empresa debe asumir para mantenerse vigente.

Frente a la necesidad de una empresa constructora de idear un sistema de mediciones de productividad laboral, para buscar mejoras en sus procesos, se propone un método para medir los rendimientos de cualquier faena ejercida en una obra civil. Por requerimientos de dicha empresa, se miden las faenas de enfierradura, junto con un análisis y recomendaciones para el mejoramiento de la efectividad de la mano de obra.

Para la realización del presente estudio se establecieron parámetros de medición. Uno de ellos es el uso de tiempo que le da cada trabajador a su jornada laboral, esta fue dividida en 3 grandes grupos: Trabajo Productivo, Trabajo Contributivo y Trabajo No Contributivo, los que a su vez poseen 3 subdivisiones. Otro parámetro es el elemento estructural que cada trabajador está confeccionando y su respectiva cubicación. Y, finalmente, el trabajo diario que se realiza en el doblado y corte de las barras de acero.

Las mediciones se realizaron, mediante la contratación de gente dedicada diariamente a esta tarea, en 2 obras: Espacio 3 en Santiago y Parque Magnolio en Valparaíso.

Una vez terminadas las mediciones, que duraron 3 meses, fue posible obtener el detalle de las distintas actividades en que los trabajadores ocupan su tiempo, el tiempo promedio que demoran en cortar y doblar cada tipo de fierro y el tiempo (en horas hombre) que requirió el armado de cada elemento, y por último la productividad media del conjunto de todas las labores pertenecientes a la partida de enfierradura.

Con dicha productividad fue posible comparar el trabajo realizado en las obras, ver sus variaciones mensuales y comparar la eficiencia del trabajo de cada enfierrador. También fue posible ver cómo cambia la productividad de los encargados del corte y doblado de fierros al incorporar el uso de máquinas. Dando como resultado que en obras con mayor cantidad y diámetro de armadura, la productividad en la instalación es mayor que en obras más “livianas”, pero el proceso de doblado y corte es más lento y caro. Finalmente estas diferencias, para el caso de las 2 obras medidas, se compensaron una a otra dando como resultado que ambas poseen la misma productividad global en la partida de enfierradura.

También se realizó un estudio estadístico, mediante test de normalidad, bondad de ajuste a diversas distribuciones y prueba de Kruskal-Wallis para buscar relaciones entre las obras e identificarlas con algún tipo de distribución. En ambos casos los resultados significaron el rechazo a la hipótesis de normalidad y a la relación entre las muestras.

Este estudio permite a las empresas dar un gran paso en la implementación de sistemas continuos de medición de productividad, que necesariamente deben ser utilizados a todo lo largo de la obra y en cada partida existente.

CONTENIDOS

1 Introducción 1
1.1 Antecedentes 1
1.1.1 Industria de la construcción 1
1.1.2 ¿Qué es la productividad y cómo puede ser medida? 5
1.1.3 La evolución de la productividad en la construcción Chilena 6
1.2 Objetivos 10
1.2.1 Objetivo principal 10
1.2.2 Objetivos específicos 10
1.3 Metodología de Trabajo 10
1.4 Alcance del trabajo 11
2 La productividad en proyectos de construcción 12
2.1 Factores determinantes en la productividad 12
2.2 La dificultad de medir productividad en construcción 15
2.3 Indicadores de productividad 17
2.3.1 Productividad Laboral, enfocada en la Producción Bruta 18
2.3.2 Productividad Laboral, enfocada en el Valor Agregado 19
2.3.3 Productividad Capital, enfocada en el Valor Agregado 20
2.3.4 PFM Laboral-Capital, enfocada en el Valor Agregado 21
2.3.5 PFM Laboral-Capital-Intermedios 22
2.4 Benchmarking 22
3 Método Alternativo de Medición para Productividad 24
3.1 Medición en Terreno 25
3.1.1 Elemento Estructural y Partida del Trabajador 26
3.1.2 Uso de Tiempo 26
3.2 Cubicaciones 27
3.2.1 Medición de elementos construidos 28
3.2.2 Trabajos de preparación de materiales 28
3.3 Cálculo de Productividad 29
3.3.1 Productividad de instalación 30
3.3.2 Productividad de la preparación de materiales 32
3.3.3 Productividad total y máxima esperada (Uso óptimo de tiempo) 38

4 Productividad Medida en las Obras 41
4.1 Casos Estudiados 41
4.1.1 Espacio 3 41
4.1.2 Magnolio 41
4.2 Consideraciones Previas 42
4.3 Análisis Uso de Tiempo 42
4.3.1 Global Según Obra 42
4.3.2 Según Partida 42
4.3.3 Según Trabajador 47
4.3.4 Según Fechas 48
4.4 Productividad Instalación de Armadura 50
4.4.1 Eliminación de Datos Extremos (Outliers) 50
4.4.2 Productividad Media Total 65
4.4.3 Productividad Magnolio Casa v/s Subcontrato 66
4.4.4 Productividad Mensual 66
4.4.5 Productividad Óptima y Máxima 67
4.5 Productividad en Preparación de Armadura 68
4.5.1 Calculo de Parámetros de Productividad 68
4.5.2 Productividad en Doblado y Corte de Materiales 70
4.5.3 Productividad Óptima y Máxima 71
4.6 Productividad General de la Obra 71
4.6.1 Productividad General Óptima y Máxima 72
4.6.2 Análisis Probabilístico de Productividad 72
4.6.3 Ajuste a Distribuciones Empíricas 79
4.6.4 Prueba de Kruskal-Wallis 83
5 Conclusiones y Discusión 84
5.1 Razones de las mediciones. 84
5.2 Aplicación e implementación en empresas 85
6 Bibliografía 87

INDICE DE FIGURAS

Figura 1 Evolución de los Costos de la Construcción, CChC 2013 2
Figura 2 Índice de Costos de Edificación, CChC 2013 3
Figura 3 Promedio del Crecimiento Porcentual Anual de la Minería, UAI 2011 6
Figura 4 Promedio del Crecimiento Porcentual Anual de la Construcción, UAI 2011 7
Figura 5 Evolución del Rendimiento Real Hormigonado, Calibre 2013 7
Figura 6 Evolución del Rendimiento Real Moldaje, Calibre 2013 8
Figura 7 Evolución del Rendimiento Real Enfierradura, Calibre 2013 8
Figura 8 Algoritmo para Cálculo de Productividad en Instalación, Elab. Propia 32
Figura 9 Algoritmo para Cálculo de Productividad en Preparación de Enfierradura, Elab. Propia 38
Figura 10 Algoritmo para Cálculo de Productividad Total, Elab. Propia 40
Figura 11 Confección de Materiales Espacio 3, Elab. Propia 44
Figura 12 Confección de Materiales Parque Magnolio, Elab. Propia 44
Figura 13 Doblado y Corte Enfierradura Espacio 3, Elab. Propia 45
Figura 14 Doblado y Corte Enfierradura Parque Magnolio, Elab. Propia 45
Figura 15 Instalación de Enfierradura Espacio 3, Elab. Propia 46
Figura 16 Instalacion de Enfierradura Parque Magnolio, Elab. Propia 46
Figura 17 Uso de Tiempo Espacio 3, Elab. Propia 49
Figura 18 Uso de Tiempo Parque Magnolio, Elab. Propia 50
Figura 19 Gráfico de Dispersión de Productividad en Instalación de Espacio 3, Elab. Propia 51
Figura 20 Gráfico de Dispersión de Productividad en Instalación de Parque Magnolio, Elab. Propia 52
Figura 21 Gráfico Boxplot de Obras Espacio 3 y Parque Magnolio, Elab. Propia 53
Figura 22 Histograma de Productividad en Instalación de Espacio 3, Elab. Propia 54
Figura 23 Histograma de Productividad en Instalación de Parque Magnolio, Elab. Propia 54
Figura 24 Histograma de Productividad en Instalación de Espacio 3 Filtrado Mediante Método Tukey, Elab. Propia 56
Figura 25 Histograma de Productividad en Instalación de Parque Magnolio Filtrado Mediante Método Tukey, Elab. Propia 57
Figura 26 Histograma de Productividad en Instalación de Espacio 3 Filtrado Mediante Método BoxPlot Ajustado, Elab. Propia 58
Figura 27 Histograma de Productividad en Instalación de Parque Magnolio Filtrado Mediante Método BoxPlot Ajustado, Elab. Propia 59
Figura 28 Histograma de Productividad en Instalación de Espacio 3 Filtrado Mediante Método de la Mediana, Elab. Propia 60

Figura 29 Histograma de Productividad en Instalación de Parque Magnolio Filtrado Mediante Método de la Mediana, Elab. Propia 60
Figura 30 Histograma de Productividad en Instalación de Espacio 3 Filtrado Mediante Método MAD, Elab. Propia 61
Figura 31 Histograma de Productividad en Instalación de Parque Magnolio Filtrado Mediante Método MAD, Elab. Propia 62
Figura 32 Histograma Final de Productividad en Instalación de Espacio 3 Filtrado Mediante Método Tukey, Elab. Propia 63
Figura 33 Histograma Final de Productividad en Instalación de Parque Magnolio Filtrado Mediante Método Tukey, Elab. Propia 64
Figura 34 Gráfico BoxPlot de Productividad en Instalación en Espacio 3 y Parque Magnolio Filtrado Mediante Método Tukey, Elab. Propia 65
Figura 35 Funcion Acumulativa Teorica y Normal, Test Kolmogorov Smirnov, Fuente Desconocida 73
Figura 36 Rango de Normalidad en test K-S, Fuente Desconocida 74
Figura 37 Histograma de Productividad Total en Espacio 3, Elab. Propia 76
Figura 38 Gráfico de Probabilidades en Espacio 3, Elab. Propia 77
Figura 39 Histograma de Productividad Total en Parque Magnolio, Elab. Propia 78
Figura 40 Gráfico de Probabilidades en Parque Magnolio, Elab. Propia 79
Figura 41 Densidad de Probabilidad de Espacio 3 con Distribución Gamma (3P), Elab. Propia 81
Figura 42 Densidad de Probabilidad de Parque Magnolio con Distribución Gamma (3P), Elab. Propia 81

INDICE DE TABLAS

Tabla 1 Resumen de Principales Medidas de Productividad, OCDE 2001 18
Tabla 2 Ejemplo Cubicación de Elementos, Elab. Propia 28
Tabla 3 Ejemplo Cubicación Preparación de Enfierradura, Elab. Propia 28
Tabla 4 Ejemplo Cubicación Doblado de Enfierradura, Elab. Propia 29
Tabla 5 Ejemplo Clasificación Uso de Tiempo, Elab. Propia 30
Tabla 6 Ejemplo Clasificación Agrupada de Uso de Tiempo, Elab. Propia 30
Tabla 7 Ejemplo de Planilla de Mediciones, Elab. Propia 31
Tabla 8 Ejemplo Cubicación de Elemento Medido, Elab. Propia 32
Tabla 9 Ejemplo de Preparación de Enfierradura, Elab. Propia 35
Tabla 10 Error de Estimación según Vector p*, Elab. Propia 36
Tabla 11 HH Estimadas de Preparación según Elemento, Elab. Propia 37
Tabla 12 Ejemplo de Uso de Tiempo en Obras Extranjeras, Elab. Propia 39
Tabla 13 Ejemplo de Proyección de Productividad Óptima y Máxima, Elab. Propia 39
Tabla 14 Uso de Tiempo en Parque Magnolio y Espacio 3, Elab. Propia 42
Tabla 15 Detalle de Uso de Tiempo en Parque Magnolio y Espacio 3, Elab. Propia 43
Tabla 16 Uso de Tiempo según Obra y Tipo de Contrato, Elab. Propia 47
Tabla 17 Mayor y Menor UdT en Trabajo Productivo de cada Obra, Elab. Propia 47
Tabla 18 Mayor y Menor UdT en Trabajo No Contributivo de cada Obra, Elab. Propia 47
Tabla 19 Variación Uso de Tiempo según Día Laboral, Elab. Propia 48
Tabla 20 Variación Uso de Tiempo según Mes, Elab. Propia 48
Tabla 21 Detalle de Variación Uso de Tiempo según Mes, Elab. Propia 49
Tabla 22 Calculo de Limites de Outliers por Metodo Tukey, Elab. Propia 56
Tabla 23 Cantidad de Outliers por Metodo Tukey, Elab. Propia 56
Tabla 24 Calculo de Limites de Outliers por Metodo BoxPlot Ajustado, Elab. Propia 58
Tabla 25 Cantidad de Outliers por Metodo BoxPlot Ajustado, Elab. Propia 58
Tabla 26 Calculo de Limites de Outliers por Metodo de Regla de la Mediana, Elab. Propia 59
Tabla 27 Cantidad de Outliers por Metodo de Regla de la Mediana, Elab. Propia 59
Tabla 28 Calculo de Limites de Outliers por Metodo MAD, Elab. Propia 61
Tabla 29 Cantidad de Outliers por Metodo MAD, Elab. Propia 61
Tabla 30 Resumen de Resultado de Identificación de Outliers, Elab. Propia 62
Tabla 31 Variacion de Mediana y Promedio de las muestras segun cada Metodo de Identificacion de Outliers, Elab. Propia 63
Tabla 32 Productividad en Instalación de Espacio 3 y Parque Magnolio, Elab. Propia 66

Tabla 33 Productividad en Instalación de Parque Magnolio, Elab. Propia 66
Tabla 34 Productividad en Instalación según Mes, Elab. Propia 66
Tabla 35 Variacion Mensual de Intalacion de Enfierradura en Espacio 3, Elab. Propia.....67
Tabla 36 Variacion Mensual de Intalacion de Enfierradura en Parque Magnolio, Elab. Propia 67
Tabla 37 Uso de Tiempo General, Extracto Tabla 15, Elab. Propia.....68
Tabla 38 Proyecciones de la Productividad en Instalación de Enfierradura, Elab. Propia.....68
Tabla 39 Vectores de Calibración de Menor Error en Obra Espacio 3, Elab. Propia.....69
Tabla 40 Vector de Calibración tomado para Cálculo de HH en Doblado y Corte Obra Espacio 3, Elab. Propia 69
Tabla 41 Vectores de Calibración de Menor Error en Obra Parque Magnolio, Elab. Propia 70
Tabla 42 Vector de Calibración tomado para Cálculo de HH en Doblado y Corte Obra Parque Magnolio, Elab. Propia 70
Tabla 43 Productividad de Doblado y Corte, Elab. Propia 70
Tabla 44 Uso de Tiempo en Doblado y Corte, Extracto Tabla 15, Elab. Propia 71
Tabla 45 Proyecciones de la Productividad en Doblado y Corte de Enfierradura, Elab. Propia 71
Tabla 46 Productividad de Instalación, Doblado y Corte, y General, Elab. Propia 72
Tabla 47 Proyecciones de la Productividad en Doblado y Corde de Enfierradura, Elab. Propia 72
Tabla 48 Parametro a en test K-S, Elab. Propia 74
Tabla 49 Parametro A^2 en test A-D, Elab. Propia 74
Tabla 50 Datos Descriptivos de la Productividad Total en Espacio 3, Elab. Propia.....76
Tabla 51 Datos Descriptivos de la Productividad Total en Parque Magnolio, Elab. Propia 78
Tabla 52 Las 10 distribuciones de mejor ajuste en Espacio 3 y Parque Magnolio, Elab. Propia 80
Tabla 53 Parámetros de la funciónes de densidad de Espacio 3 y Parque Magnolio, Elab. Propia.....81
Tabla 54 Test de K-S y A-D para distribución Gamma (3P) en Espacio 3, Elab. Propia 82
Tabla 55 Test de K-S y A-D para distribución Gamma (3P) en Parque Magnolio, Elab. Propia.....82

1 INTRODUCCIÓN

1.1 ANTECEDENTES

1.1.1 Industria de la construcción

La industria de la construcción tiene un rol muy importante en los países industrializados. Gracias a ella, la gente y habitantes de cada país pueden vivir en casas, manejar por calles, trabajar en oficinas o fábricas, obtener electricidad de plantas eléctricas, ir a hospitales, escuelas y muchas otras cosas que en algún punto de su funcionamiento han dependido de la industria de la construcción. La pregunta es si existe algún otro tipo de industria que sea tan importante y transversal en la vida diaria de cualquier persona.

¿Qué es la construcción? Es un concepto amplio que puede incluir una gran gama de participantes, como la manufactura de materiales, vendedores, transportistas, proyectistas, contratistas y subcontratistas. Pero algunas de estas empresas forman parte también de otros rubros, como el rubro automotor, puertos, industria maderera, etc., es por esto que es muy difícil separar e independizar todos los factores que están presentes en la construcción. En esta memoria, por lo tanto, como concepto de industria de la construcción, se considerará solo a la constructora en sí y empresas subcontratistas.

Como la construcción es algo que concierne e involucra a casi toda la población de un país, no es de sorprenderse que el debate por este rubro haya sido y siempre estará presente, debido a que de la lista mencionada anteriormente, el más importante de todos es el hogar. En estos últimos años hemos visto un arduo debate debido a la burbuja inmobiliaria y gran competencia en la edificación, también por los resultados del terremoto del 27 de Febrero de 2010, los daños a las construcciones y la posterior reconstrucción y también por el bajo desempleo y alza en el sueldo de los trabajadores. Todo esto ha traído un rápido incremento en los costos de construcción.

En la *Figura 1* se muestra la evolución del índice de costos de la construcción (ICE), índice que incluye las políticas nacionales de importación o exportación, ofertas de trabajo que puedan alterar la empleabilidad del rubro, políticas comunales de costos de construcción u otros factores. Como se puede ver en la Figura, los costos de construcción poseen un aumento anual que bordea el 6%, lo que ha generado un aumento total en los costos de los proyectos de un 75% en los últimos 8 años.

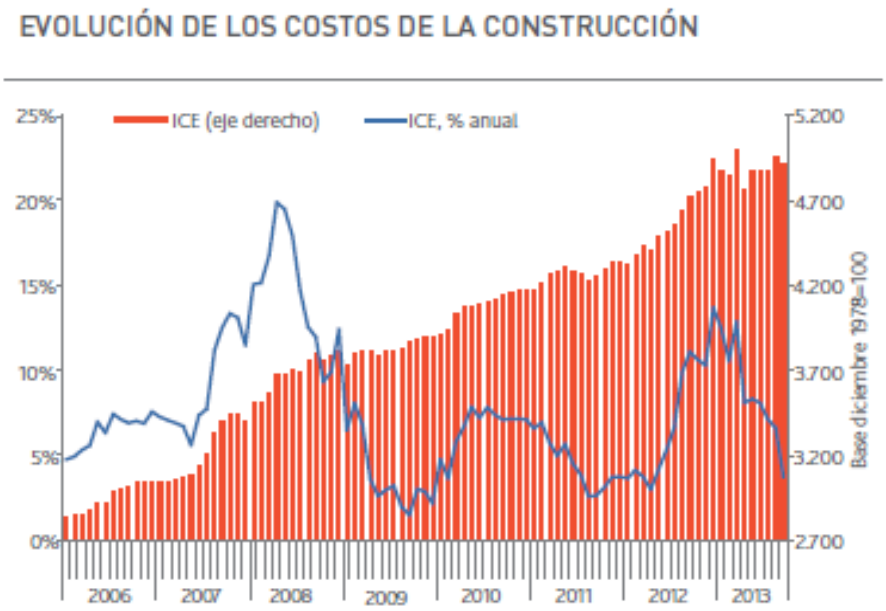


Figura 1 Evolución de los Costos de la Construcción, CChC 2013

La pregunta que toda persona se hace al ver estos aumentos de costos es ¿Quién es el causante del alza de precios? ¿Las empresas inmobiliarias, las constructoras, subcontratos o los proveedores de materiales? La verdad es que esta pregunta no tiene una respuesta simple, ya que las constructoras son acusadas de cobrar altos precios mientras ellos culpan las nuevas normas de construcción y los aumentos de precios de proveedores. Pero siempre es importante recordar que los aumentos de precios de materiales no se deben necesariamente por el uso en la construcción, ya que hay elementos, como el acero, que también es utilizado para otras industrias, y que el aumento de demanda por parte de ellos, también afecta a la construcción.

Si analizamos los tres componentes del ICE (*Figura 2*) vemos una trayectoria con sueldos y salarios empujando el crecimiento del indicador de costos de edificación. El crecimiento promedio en el año 2013 de este sub indicador fue de 18%. Por otro lado, los materiales de construcción alcanzaron una baja variación, que ha fluctuado en los últimos años entre un 10% y -5%.

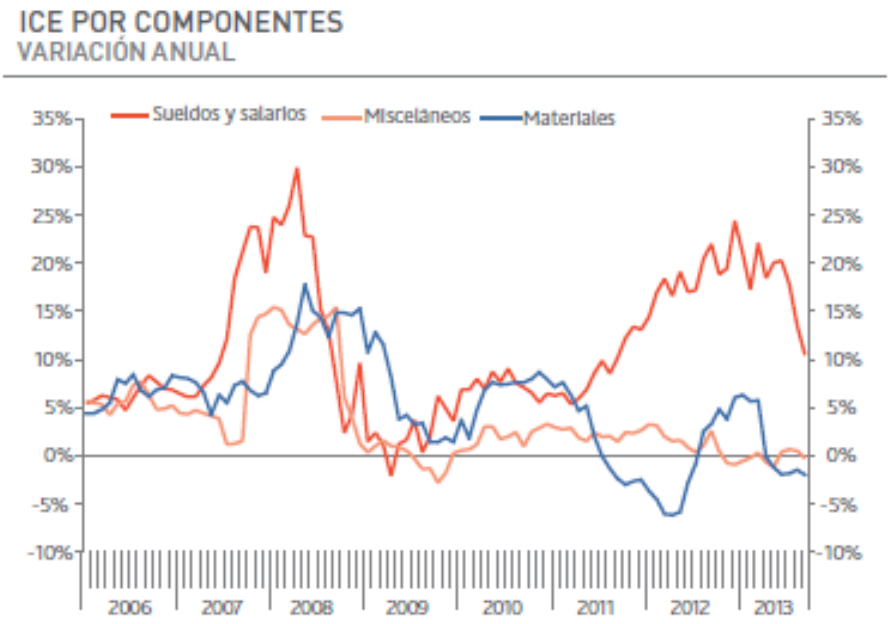


Figura 2 Índice de Costos de Edificación, CChC 2013

Según lo visto en la *Figura 2* se puede llegar a la conclusión de que el aumento del costo en las viviendas es producto del aumento en el costo de la mano de obra. Pero tenemos que tener en cuenta otros factores, como son las bajas tasas de desempleo que hemos tenido en los últimos 4 años, la baja calificación de los trabajadores, la calidad del producto, la baja inversión en investigación y desarrollo de nuevas tecnologías, baja productividad, altos costos de hipotecas y, finalmente, la variabilidad de los subsidios entregados por el Estado.

En la presente memoria vamos a trabajar con los factores que afectan directamente el trabajo en la construcción, dejando de lado todos los factores externos, para así poder analizar las causas que generan variación en la productividad de los trabajadores.

Hay muchas posibilidades de mejorar la productividad en construcción, al igual que en otros rubros de producción. Pero el proceso natural de mejora continua ha sido mucho más rápido en otros tipos de industrias. Una forma de reducir el tiempo y los recursos necesarios en una construcción es reducir el número de errores. En un estudio llamado "Causas de defectos en construcciones" ("Causes of defects in building", Josephson 1998) el autor llega a la conclusión que los errores en los proyectos estudiados pueden llegar a un 6% del total del costo de producción, y solamente el tiempo requerido en mano de obra es del 11% de las horas invertidas totales. Todos estos errores pueden, de una u otra forma, ser relacionados a las acciones individuales de cada trabajador. Josephson también explica que las causas de los errores se dividen en 5 grupos, de los que pueden ser atribuibles más del 80% de los errores presentes en una obra:

1. Conocimiento y experiencia. 12%
2. Comunicación. 6%
3. Compromiso (olvido, descuido, faltas de cuidado y de criterio, etc). 70%
4. Estrés o falta de tiempo. 1%
5. Riesgo y otras causas. 11%

De estas 5 causas, “compromiso” es el más importante, ya que contiene más de la mitad de los errores ocurridos o generados por la mano de obra.

El estudio realizado por Josephson también asigna los errores a las diferentes funciones o etapas del proceso de edificación, catalogándolos principalmente a:

- Diseño
- Dirección o gestión
- Ejecución del trabajo
- Entrega o abastecimiento de materiales

Errores cometidos por personas involucradas en el proceso son, claramente, la principal razón de trabajos innecesarios de reparación o repetición de las obras, pero también hay que tener en cuenta otras razones, como:

- Diseños alejados del óptimo productivo de una construcción.
- Movimiento innecesario de materiales dentro de una obra.
- Retrasos en la entrega de materiales, o incluso entregas prematuras.
- Cambios atrasados en el diseño de la obra.
- Baja coordinación entre los diferentes contratistas.
- Mala o errada implementación de máquinas y métodos de construcción.
- Pobre organización de las personas dentro de la obra.

Está claro que en construcción los recursos no siempre son utilizados de la mejor forma. La discusión de que la industria de la construcción es una de las partes de la industria con peor desempeño en productividad viene desde los años 70, en que las demás industrias comenzaron a utilizar procesos más automatizados gracias a la integración de computadoras capaces de disminuir la cantidad de errores, detectarlos a tiempo y asegurar una productividad determinada. En dicho punto, la construcción solamente ha conseguido incorporar mejores herramientas y maquinas, inclusive mejores procesos, pero ningún se acerca a la automatización que se ha conseguido en la manufactura.

En cambio en la industria de la construcción se tienen muchos factores que lo hacen ser una industria única en su tipo, e incluso hace que una obra sea completamente distinta a la anterior. Los diferentes factores que puede haber de una obra a otra son:

- Diseño o capacidad
- Variabilidad del terreno.
- Condiciones climáticas
- Cambios de estaciones
- Habilidad y disponibilidad de la mano de obra
- Factores de experiencia de obras anteriores
- Factores intangibles como desgaste de la mano de obra, moral y actitud de los trabajadores
- Accesibilidad al sitio
- Disponibilidad de fuentes de energía
- Requerimientos gubernamentales
- Variabilidad del equipo administrativo y de supervisión

- Cercanía con puntos de abastecimientos de materiales.

Todos estos factores han hecho que la industria de la construcción se vaya quedando atrás con respecto a las demás y viendo así perjudicada su productividad.

1.1.2 ¿Qué es la productividad y cómo puede ser medida?

Muchos términos son usados para describir la productividad en la industria de la construcción: factor de desempeño, tasa de producción, tasa de horas hombre, etc. La definición de productividad generalmente aceptada es:

$$Productividad = \frac{Output}{Input}$$

Donde:

Output: producción o cantidad de productos conseguidos.

Input: recursos utilizados.

Para ver la productividad final de la obra se utiliza un factor llamado Factor Total de Productividad (FTP) que puede ser expresado como:

$$FTP = \frac{Output\ Total}{Mano\ de\ Obra + Materiales + Equipamiento + Energía + Capital}$$

Debido a que la ecuación contiene unidades diferentes en el denominador, es difícil de calcular, a menos que se transformen los valores en sus respectivos costos monetarios. Por lo que el FTP puede ser expresado por:

$$FTP = \frac{Valor\ Monetario\ del\ Output}{Valor\ Monetario\ del\ Input}$$

Debido a lo difícil que es interpretar y trabajar con los valores obtenidos del FTP, se utilizan valores parciales de FTP. Esto se puede hacer usando solo uno de los inputs, y el output al que está relacionado, obteniendo valores mucho más manejables, facilitando el análisis de metodologías nuevas de trabajo con el objetivo de mejorarlo.

Las mediciones de productividad más importantes o utilizadas son:

- La eficiencia de la mano de obra en el proceso productivo.
- La eficiencia relativa del trabajo según lo que se hizo vs lo que se requería hacer.

Un ejemplo del primer tipo de medición es la cantidad de dinero requerido para producir un metro cuadrado de ciertas características. En cambio, contratistas y organizaciones sindicales están más interesados en el segundo tipo de medición, en que se mide la cantidad de metros cuadrados instalados según las horas hombre utilizadas para poder terminar dicho proceso. Dando así una mejor aproximación de la eficiencia que tienen los trabajadores, sin verse afectado por los costos existentes en el mercado laboral o de materiales.

A pesar de que productividad es un concepto bien definido, no hay una definición clara del concepto de efectividad y eficiencia. Se considera que la eficiencia existe cuando los trabajos son efectuados de tal

forma que se minimizan los usos de recursos, en cambio, la efectividad mide si la producción realizada cumple con los requerimientos especificados por el mandante, o la cantidad de veces que se tiene que realizar para llegar a dicho requerimiento.

1.1.3 La evolución de la productividad en la construcción Chilena

El panorama de la evolución de la productividad en la construcción de Chile es complicado por la alta demanda de mano de obra en el sector, producto de la gran cantidad de obras y proyectos que se están ejecutando en Chile y el tamaño de estos. Adicionalmente tenemos el explosivo aumento en requerimientos de mano de obra calificada o de buen rendimiento por parte del sector minero, generando así un escenario en que la construcción en gran parte de Chile ha tenido que reestructurar sus procesos y asumir ritmos de avance menores a los proyectados. A su vez, la situación de pleno empleo hace que la demanda de trabajadores para el sector sea suplida por trabajadores menos capacitados, de menor desempeño, afectando la productividad de los proyectos.

A continuación se presentan dos gráficos de la variación porcentual en la productividad de la Minería y la Construcción, del Estudio "Evolución De La Productividad Total De Factores En Chile" realizado por la Universidad Adolfo Ibañez y CORFO en Septiembre de 2011, en que se demuestra cómo se contraponen las variaciones en productividad de la Construcción con respecto a la Minería.

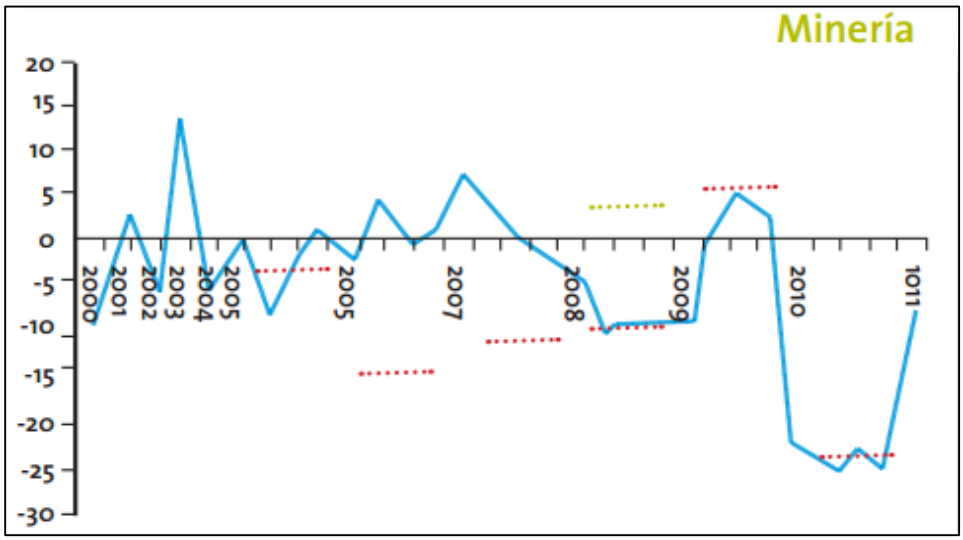


Figura 3 Promedio del Crecimiento Porcentual Anual de la Minería, UAI 2011

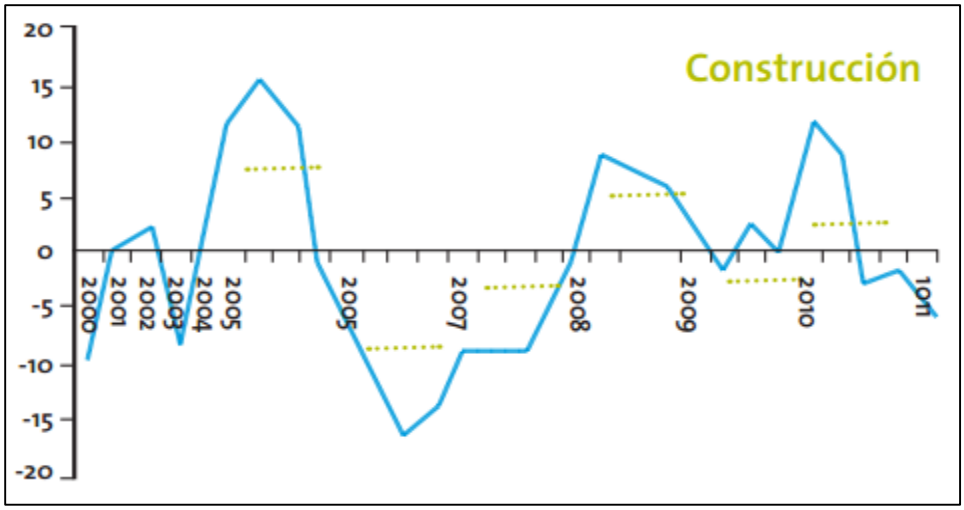


Figura 4 Promedio del Crecimiento Porcentual Anual de la Construcción, UAI 2011

Adicionalmente, en el estudio "Productividad en Obras de Edificación en Chile" realizado por el Servicio CALIBRE desde los años 2005 hasta 2013, se puede ver el desarrollo negativo que ha tenido la productividad laboral en construcción. En dicho estudio se analizan las 3 principales partidas de trabajo: Hormigonado, Moldaje y Enfierradura, midiéndolos en:

- Rendimiento Hormigón: m^3 de Hormigón instalado por 1 Hombre Día (HD) de trabajo.
- Rendimiento Moldaje: m^2 de Moldaje instalado por 1 Hombre Día (HD) de trabajo.
- Rendimiento Enfierradura: Kg de Enfierradura instalada por 1 Hombre Día (HD) de trabajo.

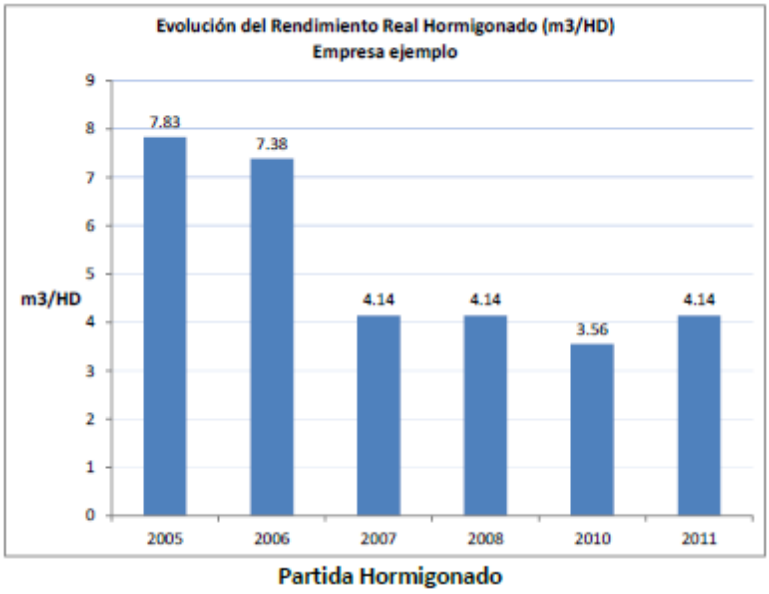


Figura 5 Evolución del Rendimiento Real Hormigonado, Calibre 2013

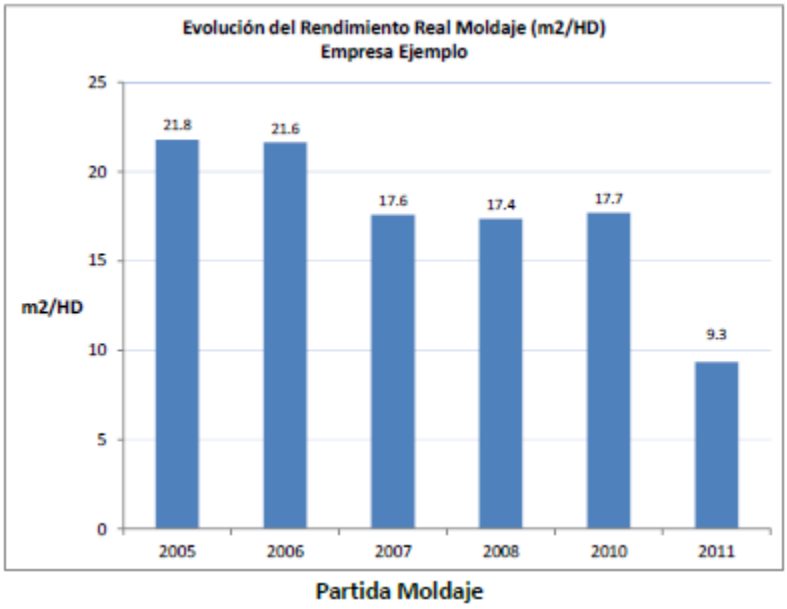


Figura 6 Evolución del Rendimiento Real Moldaje, Calibre 2013

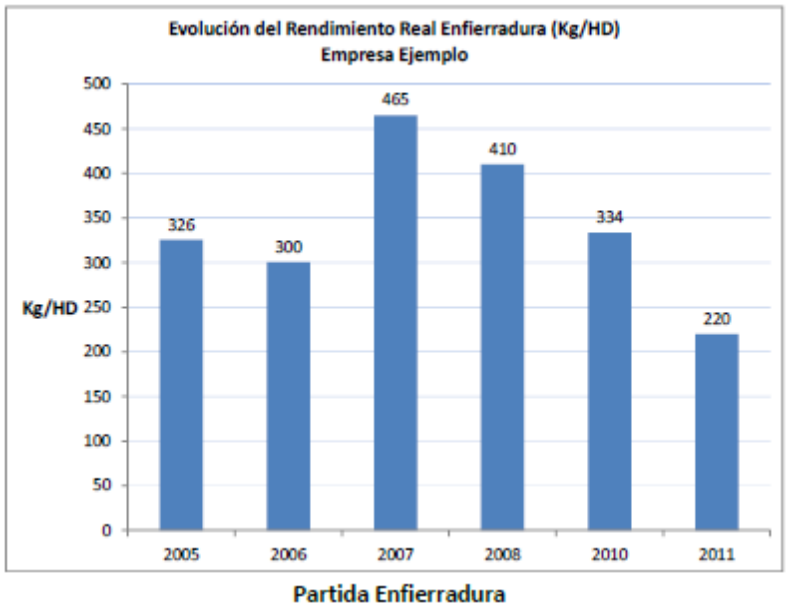


Figura 7 Evolución del Rendimiento Real Enfierradura, Calibre 2013

En los tres gráficos se aprecia que el rendimiento ha ido disminuyendo de forma progresiva, denotando una estabilización entre el 2007 y 2010, siendo el año 2011 el que muestra un fuerte descenso del rendimiento de las partidas de moldaje y enfierraduras, precisamente las que necesitan mayor cantidad de mano de obra especializada y donde las tecnologías con mejor rendimiento hace tiempo que han sido implementadas.

Esto genera un gran desafío en la mejora de la productividad, ya que el solo hecho de buscar y contratar a los mejores trabajadores, para así tener un buen desempeño laboral, ya no es posible, y es necesario buscar nuevas metodologías de trabajo, en que el factor humano sea cada vez menos decisivo.

Al margen de lo anterior, que permite adelantar únicamente un diagnóstico. El problema central que se enfrenta para este ámbito de la ingeniería, es que la investigación experimental de donde poder extraer datos idóneos para su interpretación científico-técnica, no puede recurrir en general al laboratorio clásico, sino que al único real: La Obra misma. Esto ha derivado que a nivel país, no se cuente con investigación amplia y detallada sobre los factores involucrados. Cuando más son las propias empresas que de manera más o menos informal y propia, cuentan con algunos registros de productividad, pero sin que hayan sido sometidos al rigor de las metodologías estadísticas actualmente disponibles.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo principal

Analizar, bajo un enfoque metódico, a partir de datos idóneos provenientes de obras en desarrollo los factores que afectan la productividad laboral en la industria de la construcción, estudiando el impacto que éstos tienen en el rendimiento de cada partida, y proponer un sistema práctico y eficaz adaptado a la realidad chilena de medición de dicha productividad laboral.

1.2.2 Objetivos específicos

1. Analizar desde la experiencia en obra y describir los distintos factores que afectan la productividad en la construcción, con la finalidad de identificar partidas claves.
2. Desarrollar y proponer un método para calcular la productividad de partidas claves en una obra.
3. Analizar estadísticamente los resultados obtenidos, identificando si poseen una distribución específica y si se relacionan entre diferentes obras entre ellas.
4. Realizar recomendaciones que mejoren la productividad laboral en la construcción a partir de los resultados obtenidos del sistema de medición propuesto.

1.3 METODOLOGÍA DE TRABAJO

Este estudio consiste en 5 Capítulos más Apéndices:

- **Capítulo 1 "Introducción":** se discuten los antecedentes históricos y nacionales, definiciones, sistemas de medidas utilizados, problemas existentes y datos relacionados a la productividad en la construcción.
- **Capítulo 2 "La Productividad en Proyectos de Construcción":** se analizan los distintos factores que afectan la productividad, los problemas y las dificultades que trae el uso de sistemas de medición que se utilizan en otros tipos de industrias, como la agrícola. Adicionalmente se presentan los tipos de indicadores utilizados por las empresas para medir su productividad y los sistemas existentes de comparación (Benchmarking).
- **Capítulo 3 "Método Alternativo de Medición para Productividad":** se propone un nuevo sistema de medición que parte de la base un registro diario de los avances de la obra y de cómo usan su tiempo los trabajadores, consiguiendo así la productividad con que se construyó cada elemento estructural.
- **Capítulo 4 "Productividad Medida en las Obras":** se analizan estadísticamente los resultados del método propuesto, pasando previamente por un análisis de datos extremos y terminando en la realización de pruebas para identificar la distribución que mejor representa a los resultados y no paramétricas para comprar los datos de las obras.
- **Capítulo 5 "Discusión":** se presentan las conclusiones, recomendaciones y sugerencias para futuros estudios.

1.4 ALCANCE DEL TRABAJO

Investigar los factores más importantes que afectan la productividad laboral en la edificación, para así poder diseñar un eficiente plan de obra.

También se busca proveer de información esencial sobre los factores que rigen la productividad y sugerir una forma efectiva y rápida de controlarla.

2 LA PRODUCTIVIDAD EN PROYECTOS DE CONSTRUCCIÓN

2.1 FACTORES DETERMINANTES EN LA PRODUCTIVIDAD

Muchos estudios de productividad se han hecho (AACE 2003: "*Estimating Lost Labor Productivity in Construction Claims*", Mabesh Gundecha: "*Study Of Factors Affecting Labor Productivity At A Building Construction Project In The Usa: Web Survey*", Intergraph: "*Factors Affecting Construction Labor Productivity*") para poder establecer qué factores afectan el desempeño de empresas, tanto de oficina como terreno. Poder identificar y establecer dichos factores es el primer paso necesario para poder mejorar la productividad, para así diseñar un sistema de medición que permita ver el peso que tiene cada uno en el desempeño de la empresa.

A continuación se presentan los factores interrelacionados que son catalogados como los principales causantes de los cambios en la productividad según el estudio realizado por Mabesh Gundecha.

I. **Uso de Horas Extraordinarias:** Dentro de los factores que pueden generar pérdidas o disminución de productividad a lo largo de la construcción de un proyecto, está principalmente el trabajo realizado con horas laborales extraordinarias. El uso de horas extraordinarias, por requerimientos de la empresa, producen en la fuerza laboral: fatiga, aumento de ausencias al trabajo, baja de moral, reducción de una supervisión efectiva, disminución en la calidad del trabajo, significando mayor cantidad de trabajos rehechos; aumento de accidentes, disminuyendo así la productividad. A pesar de esto, el trabajo en horas extras no siempre significa un decrecimiento en la productividad, dependiendo del trabajador y de las tareas que se le han asignado, el trabajo en sobretiempo inicialmente genera un aumento de la productividad, pero a medida que transcurre el tiempo esta productividad va a ir decreciendo debido al desgaste de las personas involucradas.

II. **Compresión del Programa:** Cuando un proyecto presenta retrasos en sus primeras etapas de avance se genera una compresión general del tiempo en que se deben realizar todas las tareas de la obra, para así poder compensar las interrupciones y poder terminar las faenas dentro del plazo requerido. Desde un punto de vista profesional, la compresión del programa se solucionaría sin necesidad de acelerar el trabajo individual de cada trabajador, incorporando más mano de obra como apoyo a la ya existente. Sin embargo, en la mayoría de las obras, la cantidad de recursos disponibles no son suficientes. En consecuencia, la compresión del programa de trabajo trae como resultado forzar el trabajo en horas extraordinarias en las partidas pertenecientes a la ruta crítica, generando una baja considerable en la productividad, ya sea por el rendimiento individual de cada trabajador o por la falta de materiales necesarios para apoyar el trabajo adicional, la dificultad o incapacidad de planificar y coordinar las tareas al nuevo ritmo requerido.

III. **Tipo de Proyecto:** Para poder obtener una productividad deseable en un proyecto de construcción es necesario que todas las partidas involucradas tengan las condiciones de trabajo adecuadas, tanto de espacio como de materiales, en que puedan trabajar libremente sin verse afectado por otras partidas que retrasen su progreso. Adicionalmente si se requiere, por diseño del proyecto, que múltiples partidas trabajen en el mismo sector, aumenta la probabilidad de interferencia y, por ende, la disminución de la productividad. Todas estas interferencias que puedan existir entre las partidas se debe a una mala gestión por parte de la administración, ya

que se fue capaz de diseñar rutinas de trabajo que eviten el entorpecimiento de las labores entre trabajadores. También pueden causar bajas de productividad la realización de actividades que el equipo administrativo nunca ha tenido que controlar o de obras complejas en diseño o ubicación.

IV. **Seguridad:** Los accidentes tienen un gran impacto en la productividad de la obra. Varios tipos de accidentes pueden ocurrir dentro de la construcción, desde un accidente con causa de muerte que provoca el paro total de los trabajos por cierto número de días incluso los accidentes que causen lesiones y dejen a un trabajador con licencia médica, genera una disminución en el número de trabajadores por el tiempo que dure la licencia médica. El riesgo de pequeños accidentes debido a malas condiciones de trabajo como mala iluminación, gran cantidad de basura u obstáculos en las vías de desplazamiento, etc; generan una baja en la productividad.

V. **Calidad:** Mala calidad de las herramientas y del material utilizado son otros factores que disminuyen la productividad. Si el equipo que se utiliza es antiguo o está en malas condiciones, se generan muchas detenciones por reparación o cambio de piezas, aumentando el tiempo necesario para terminar las tareas. La baja calidad del material generalmente lleva a la realización de trabajos de baja calidad e insatisfactorios, pudiendo ser rechazados por el supervisor, o incluso el uso necesario del doble del material estimado. Adicionalmente, si la calidad del trabajo requerido por el mandante es muy alta y el equipo de trabajadores no está acostumbrado a entregar productos de dicha calidad, se corre el riesgo de realizar una gran cantidad de trabajos rehechos por insatisfacción de la inspección.

VI. **Factores de gestión:** Las habilidades y aptitudes del administrador de la obra tienen una relación crucial con el comportamiento de la productividad del proyecto. Organizaciones que tienen la mejor mano de obra y las herramientas más tecnológicas del mercado aun así pueden ser pobres en productividad, esto es por la actitud del administrador frente a problemas de gestión y coordinación. Incluso es muy usual encontrar que las obras con mejores productividades, en que tienen trabajadores promedio, consiguen dichos resultados gracias a la experiencia y compromiso del administrador. El desempeño de los trabajadores depende de sus habilidades y voluntad de trabajo, y el administrador debe velar por la presencia de dichas características y garantizar la óptima utilización de los recursos tecnológicos que hay en la obra.

VII. **Equipo de Mano de Obra:** En toda investigación o literatura existente que se hable de productividad es de común acuerdo que la falta de experiencia o de capacitación de la mano de obra afecta negativamente la productividad laboral. Si no se tiene mano de obra capacitada y se requiere realizar trabajos específicos con trabajadores menos capacitados es muy posible que se obtenga una mala productividad. Esto es debido a que los trabajadores de menor calificación tienen un peor manejo de los recursos, problemas de desacuerdo a las responsabilidades que se les asignó y menor generación de lazos de trabajo y compañerismo, lo que lleva a un sin número de errores, bajas en la calidad y en la productividad. Adicionalmente la edad del trabajador es un factor que no hay que dejar de lado, ya que a pesar de que con el transcurso de los años el trabajador obtiene más experiencia y empatía al trabajo en equipo y sus responsabilidades, también se ven disminuidas la agilidad, velocidad de trabajo y la fuerza del trabajador, lo que sin duda disminuye la productividad.

VIII. **Motivación:** Motivación es uno de los factores más importantes que afectan la productividad laboral en la construcción. La motivación surge cuando las ambiciones personales de los trabajadores se asemejan a las de la compañía o empresa constructora. Situaciones como atraso en los pagos, carencia de sistema de bonos o gratificaciones por avance, falta de seguros o la no existencia de sesiones de capacitación son causantes de desmotivación en la labor del trabajador. También es muy importante otorgar la posibilidad al trabajador de que pueda progresar y mejorar su puesto de trabajo, para así sentirse más comprometido y motivado en el progreso de la empresa misma.

IX. **Supervisión:** Generalmente los proyectos sufren cambios en el diseño, planos y especificaciones durante la misma construcción. Si los planos o las especificaciones poseen errores o son poco claros, se espera una disminución en la productividad debido a que las instrucciones en terreno por parte de los supervisores son inseguras. Como resultado, las tareas pueden ser pospuestas, detenidas o incluso tener que rehacer algunos tramos por mala interpretación de lo requerido. Otro problema al que se ven sometidos los supervisores es cuando deben salir de sus puestos para analizar y planificar cambios en el proyecto, acelerar procesos como movimientos de carga, supervisar partidas temporales adicionales a su trabajo usual, afectando la correcta y rápida entrega de las tareas de cada equipo a cargo del supervisor.

X. **Materiales y Herramientas:** El manejo y gestión de los materiales es una de los factores más importantes en la industria de la construcción. La productividad puede ser afectada seriamente si los materiales, herramientas o equipos necesarios no se encuentran en la cantidad, lugar y hora deseada. Para mejorar la productividad de la obra, es necesario elegir el equipo con las correctas características y tamaño acorde a la obra se que se está realizando. Similar cuidado hay que tener con las herramientas, aunque estas tienen un mayor impacto en la productividad individual del trabajador que las utiliza, una buena elección puede favorecer enormemente a la obra entera. El tamaño de la obra y los lugares destinados al almacenaje de los materiales tienen un impacto significativo en la productividad, ya que afectan el tiempo que requiere cada trabajador en retirar o devolver cada material, y también la mala elección del lugar puede generar que durante todo el período de edificación los materiales deban ir cambiando de lugar, ocupando recursos y tiempo, disminuyendo la productividad general.

XI. **Factores de la Gestión del Proyecto:** Programación inapropiada de los trabajos, disminución de presupuesto en equipo básico necesario o en mano de obra y otros son factores que ocasionan pérdidas en la productividad. La mala planificación e inadecuado layout al inicio de cada proyecto generan una gran pérdida en la productividad.

XII. **Factores Naturales:** Varios factores naturales afectan la productividad laboral, en estos están la ubicación geográfica de la obra, las condiciones climáticas, la lejanía de puntos de abastecimiento de materiales o insumos básicos como agua o electricidad, son factores que afectan rotundamente el rendimiento de la obra y son muy difíciles o superan las capacidades del equipo administrativo de la obra.

XIII. **Factores Políticos:** Leyes, estatutos, impuestos, estabilidad del gobierno, etc. son esenciales para obtener una buena productividad, en que el trabajo sea fluido, sin detenciones o paralizaciones.

2.2 LA DIFICULTAD DE MEDIR PRODUCTIVIDAD EN CONSTRUCCIÓN

A medida que los países crecen y evolucionan, la construcción se va volviendo más dinámica, compleja y variada. Como resultado, las mediciones y análisis económicos y productivos de un proyecto constructivo se vuelven más difíciles y complicados de evaluar. El principal problema involucra definir las correctas unidades de medición, la evaluación de los cambios realizados y la obtención de información relevante en los inputs y outputs de los indicadores utilizados.

La medición de los inputs es problemático debido a la variación que tienen los datos a lo largo de una obra; el tiempo de trabajo productivo de un trabajador, la cantidad de material que se pierde por mal uso o cuidado, la necesidad de reparar o rehacer obras previas, etc. llevan a la necesidad de utilizar promedios o distribuciones probabilísticas como inputs.

Por ejemplo el input de la fuerza laboral, medido en horas trabajadas, refleja la tasa de utilización de mano de obra y la eficiencia que presenta, es el factor más utilizado en los indicadores de la construcción, pero no deja de ser una medida imperfecta, ya que no existe la forma exacta de medir el tiempo preciso que le dedicó cada trabajador a cierta tarea, el grado de cansancio con que desempeñó su labor, o incluso si realizó el trabajo de forma dedicada y profesional.

En relación al output del indicador, es mucho más difícil medir el valor de éste debido a la continua introducción de nuevos productos, cambios en calidad y la inadecuada valorización de partes o detalles de un producto, un ejemplo es la calidad y terminación de los muros de un departamento y cuanto se puede cobrar por ellos.

En otras empresas o rubros, la tarea de selección de inputs y outputs es mucho más antigua y se ha podido realizar de forma exitosa, en la fabricación de un auto se pueden usar como inputs los recursos materiales utilizados, las máquinas y el tiempo, datos que tienen muy baja o nula variabilidad, y como output se elige el precio de venta del auto, resultando así un ejercicio fácil de realizar en comparación a la construcción.

En manufactura las mediciones de productividad se han realizado desde hace tiempo, parámetros como “horas para armar un auto” son usados por la industria automotriz desde la época de Henry Ford. En otras industrias como la manufactura de acero, madereras y mineras, utilizan mediciones de productividad como parte de su cadena productiva, controlando sistemáticamente las operaciones en la planta o terreno. Es por esto que existe la duda de por qué no se han implementado sistemas similares de medición en la construcción. Una de las razones más básicas y primordial es que las diferencias entre la industria manufacturera y la construcción son enormes.

Las empresas constructoras producen una gran variedad de productos, yendo de obras simples (por ejemplo caminos de ripio) a obras muy complejas y grandes (por ejemplo hospitales, centrales hidroeléctricas, etc). Esta gran variedad de productos hace a la construcción y a cada proyecto “único en su tipo” (Koskela, 1992) debido a que la naturaleza de cada proyecto, la ubicación y la organización nunca van a repetirse entre una obra y otra.

Es claro que una gran variedad de productos o la diferente ubicación de fábricas que producen un mismo producto no es algo exclusivamente propio de la construcción, por ejemplo existe la empresa 3M, que

tiene operaciones en más de 65 países, incluyendo industrias y laboratorios, y genera una gama de más de 60.000 productos en múltiples rubros como la salud, electricidad, energía, seguridad, diseño gráfico, accesorios de oficina, etc. Pero aun así hay diferencias que hacen a la construcción un rubro "único en su tipo". Algunas de las principales diferencias son:

- Un requerimiento primordial para los productos de la construcción es que deben resistir las fuerzas de la naturaleza a lo largo de un extenso período de tiempo superando muchas veces los 100 años de vida útil, a diferencia de la industria manufacturera que, por ejemplo, un automóvil en Chile tiene una vida útil de 8 años en promedio (EMOL, Julio 2013). Es por esto que más allá de ser una característica, es un requerimiento, en que se diseñe y construya para la demanda presente y para los cambios que pueda tener en el futuro.
- La ubicación de cada proyecto es diferente, lo que implica que las instalaciones, maquinarias y personal deben ser trasladadas y reubicadas después de cada proyecto.
- En la industria manufacturera los productos terminados deben ser transportados a su punto de venta o entrega. En contraste, el proceso productivo de la construcción tiene lugar en el mismo sitio de uso o "consumo" del producto y generalmente dicho producto es inamovible por el resto de su vida útil.
- La separación que existe entre el proyectista y el ejecutor previene el funcionamiento mutuo y eficaz frente a problemas en la producción, en que las respuestas del proyectista frente a algún problema pueden demorar más tiempo del que se dispone en obra para no trabar las labores de los trabajadores, generándose un efecto negativo en la productividad.
- La sensibilidad del trabajo al clima y las estaciones.
- El grado en que estándares voluntarios, regulaciones obligatorias y códigos de construcción controlan la producción en una obra.
- La construcción ocupa pocos activos fijos como maquinarias o fábricas. El hecho de que sea un rubro que deba moverse constantemente de sitio y que siempre varíe el tipo de obra que se está desarrollando, hace que las maquinarias sean principalmente arrendadas, tratándolas como un factor variable en el corto plazo.
- El largo tiempo de manufactura en la construcción. En contraste al tiempo que demora manufacturar un producto en cualquier otra industria manufacturera, en que puede ser contada en minutos u horas, o como máximo en días, el tiempo en la construcción es medido en meses o incluso años.

También es importante destacar que el nivel de educación de la gente involucrada en la construcción en Chile es sustancialmente menor que en las demás industrias chilenas. Esto podría relacionarse al hecho que la inversión en I+D en la industria de la construcción es la menor en todos los rubros industriales, comerciales o civiles (2° Encuesta Nacional de Gasto y Personal en Investigación y Desarrollo (I+D), Conicyt 2010). Razones que se le atribuyen a esta diferencia en la inversión son:

- La creencia de que la construcción es una industria de servicio y la responsabilidad de inversión en I+D recae en los productores del equipamiento, productos o materiales que se utilizan.
- El miedo a que la competencia aprenderá rápidamente lo que se investigó, sin generar un gasto para ellos, debido a que los resultados de la investigación en la construcción son muy difíciles de patentar.

- En el rubro de la construcción está la convicción que en períodos de baja actividad la inversión en I+D debe ser lo mínimo posible para poder sobrevivir.

Adicionalmente existe la dificultad en evaluar el grado de calidad en la construcción. En productos manufacturados se usan parámetros como tolerancias o funcionalidad del producto terminado, en cambio, en la construcción existe un sinnúmero de detalles y parámetros que dependerá del inspector o mandante decidir si son aceptables o no, generando así que un producto de exactamente las mismas características en dos obras distintas sea rechazado en una y en el otro aceptado debido a que los inspectores tienen distintos conceptos de calidad. La Real Academia Sueca de Ciencias de la Ingeniería (IVA) señaló:

> "*Es un hecho común que en organizaciones de servicio (… como la ingeniería) la productividad no puede ser medida. Un argumento es que el aspecto de calidad es muy difícil de evaluar en términos cuantitativos. Algunos investigadores incluso señalan que puede llegar a ser incluso ofensivo el hecho de medir la productividad personal de los trabajadores o de los sectores públicos como hospitales y escuelas".*

2.3 INDICADORES DE PRODUCTIVIDAD

La inexistencia de un índice o método de medición oficial utilizada para medir la productividad en la industria de la construcción, genera que todas las constructoras manejen distintos tipos de índices para catalogar la productividad laboral, de la obra o de la industria.

- La **productividad laboral**, asociado a una tarea específica, es el indicador usualmente utilizado por contratistas o subcontratistas para evaluar la eficiencia de su fuerza laboral de manera diaria o semanal, para así detectar problemas en el proyecto o planificación a tiempo y así poder mejorarlos
- La **productividad de la obra**, o proyecto, es utilizada para comparar proyectos de similares características (entre edificios en altura, entre caminos, entre embalses, etc) en términos de costos totales, plazos, cambios en costos, horas hombre invertidas y otros factores. Dichas mediciones son de gran importancia para las empresas constructoras que poseen varios proyectos similares, para así poder reducir costos y comparar los puntos fuertes y débiles de cada nuevo proyecto.
- La **productividad de la industria**, es necesaria para poder analizar el progreso, o retroceso, de la industria de la construcción a lo largo del tiempo. Los índices pueden ayudar a identificar tendencias de crecimiento y así poder proyectar el costo y beneficio que tendrán futuras obras, debido a que un proyecto puede demorar fácilmente 5 años desde el comienzo de la etapa de estudio hasta la puesta en venta o utilización de las instalaciones, es muy necesario saber en qué condiciones se encontrara la industria de la construcción en el futuro cercano.

Dentro de la productividad laboral y del proyecto hay muchos tipos de mediciones de desempeño. La elección de cuál de ellos se va a utilizar va a depender de la finalidad con que se está midiendo la productividad y, en muchas situaciones, de la disponibilidad de los datos. Principalmente, las mediciones de productividad pueden ser clasificadas en mediciones de Productividad Factor Único (PFU), relacionadas a medir un output con respecto a un solo input, o a mediciones de Productividad de Factores Múltiples (PFM), relacionando la medida del output a un grupo de inputs, según la OCDE.

Como se señaló previamente, la productividad es calculada, en su forma genérica, de la relación entre el Input y el Output de la tarea objetivo. El output puede ser medido de distintas formas, lo que entregara distintos resultados de la estimación de productividad.

Las dos formas de medir el output son el Valor Agregado que se le asigna a un producto manufacturado (en el caso de la construcción, construido) o la Producción Bruta, la cual incluye el consumo de todos los inputs intermedios (materiales, energía y servicios utilizados en el proceso productivo). Ambos outputs pueden ser utilizados para estimar la productividad laboral, de capital o multifactores.

En la *Tabla 1* se muestran los criterios para clasificar las principales medidas de productividad propuestas por la Organización de Cooperación y Desarrollo Económico (OCDE). Están son medidas de productividad laboral y capital, ambas Mediciones de Factor Único, también están las MFM laboral-capital comparadas a labores productivas que poseen Valor Agregado y las MFM laboral-capital-energética-material, que son las más apropiadas para ser comparadas con la Producción Bruta de un producto o tarea.

Tipo de Medida del Output	*Tipo de Input Medido*			
	Laboral	Capital	Capital y Laboral	Capital, Laboral e inputs Intermedios (Energía, Materiales, Servicios)
Producción Bruta	Productividad Laboral (enfocada en la Producción Bruta)	Productividad Capital (enfocada en la Producción Bruta)	PFM Laboral-Capital (enfocada en la Producción Bruta)	PFM Laboral-Capital-Intermedios
Valor Agregado	Productividad Laboral (enfocada en el Valor Agregado)	Productividad Capital (enfocada en el Valor Agregado)	PFM Laboral-Capital (enfocada en el Valor Agregado)	
	Mediciones de Productividad Factor Único		*Mediciones de Productividad Factor Múltiple*	

Tabla 1 Resumen de Principales Medidas de Productividad, OCDE 2001

En las siguientes páginas se describen los tipos de estimación de la productividad más utilizados, señalando las principales ventajas de cada uno y una breve interpretación de los resultados.

2.3.1 Productividad Laboral, enfocada en la Producción Bruta

- Definición

$$\frac{Cantidad\ de\ Produccion\ Bruta}{Cantidad\ de\ Factor\ Laboral} = \frac{Unidades\ Producidas}{Cantidad\ de\ Trabajadores}$$

- Interpretación

Muestra como el uso productivo de factor laboral genera o lleva a una producción bruta. Los cambios de la Productividad Laboral calculada de esta forma refleja la influencia de las variaciones del capital, inputs intermedios, cambios tecnológicos, técnicos, organizacionales, influencia de economía de escala, etc.

La Productividad Laboral solo refleja parcialmente el rendimiento de la mano de obra en términos de las capacidades de los trabajadores o la intensidad de su esfuerzo laboral. La razón entre el output e input es regida principalmente por la presencia de los otros inputs señalados anteriormente.

Al medir la Producción Bruta por unidad de Factor Laboral, se pierde la sensibilidad de diferenciar los cambios generados por aumento de input intermedio. Por ejemplo, si se decide cambiar el proceso productivo de algún producto fabricado en terreno a uno prefabricado, va a causar un aumento en el output y un descenso en el input, pero esto no significa necesariamente una mejora en el rendimiento de la mano de obra ni un cambio en la tecnología o eficiencia del proceso. Para tener una mejor percepción de la mejora en la eficiencia que se ganó con ese cambio es necesario utilizar medidas de PFM.

- Propósito

Productividad Laboral basada en la Producción Bruta entrega un estimado de las unidades de Factor Laboral para conseguir cierto número de producción. Adicionalmente se puede utilizar para comparar la importancia que tiene el Factor Laboral utilizado directamente en el proyecto y estimar la cantidad requerida de mano de obra.

- Ventajas

Es un índice de fácil medición y lectura. Particularmente debido a que la producción bruta solo requiere de unidades monetarias.

- Limitaciones

La productividad laboral es una medida parcial de productividad ya que no considera la influencia de factores como el costo de la mano de obra. También hace que sea fácil malinterpretar cambios en los procedimientos productivos o variaciones de la fuerza laboral.

2.3.2 Productividad Laboral, enfocada en el Valor Agregado

- Definición

$$\frac{Cantidad\ de\ Valor\ Agregado}{Cantidad\ de\ Factor\ Laboral} = \frac{Utilidad\ del\ Ejercicio}{Cantidad\ de\ Trabajadores}$$

- Interpretación

Este índice de productividad laboral muestra el perfil de cambio de como el factor laboral genera valor agregado. En comparación con la productividad basada en la producción bruta, éste índice es menos dependiente a las variaciones que existan entre insumos intermedios y fuerza laboral. Por ejemplo, en el caso de externalización del trabajo, o compra de piezas prefabricadas, disminuye el valor agregado pero también disminuye el factor laboral. De este modo, la medida de productividad basada en el valor agregado es menos sensible a los cambios de metodología de trabajos y adquisición de servicios externos.

Debido a que la productividad laboral del valor agregado representa los cambios en el valor agregado gracias a cambios tecnológicos o técnicos del proceso productivo, este índice permite identificar y evaluar de mejor forma el uso que se le está dando al factor humano en cuanto a ganancias directas del proceso productivo.

- Propósito

El propósito de esta medida es posibilitar el análisis de vínculos entre la contribución de la industria, tecnología, mejoras de procedimientos, patentes, etc. al crecimiento económico y a la optimización de la mano de obra.

A nivel agregado, la productividad laboral basada en el valor agregado forma un vínculo directo con medidas ampliamente usadas de estándares de trabajo y optimización laboral. La productividad se transfiere directamente al rendimiento de los trabajadores, representando el impacto de medidas como los cambios de horas de trabajo, capacitación o especialización del trabajador, interés en el trabajo, etc.

- Ventajas

Las ventajas de esta medida es la facilidad para medirla y leer sus resultados.

- Limitaciones

Las limitaciones y dificultades en su uso se relacionan a que representan una medida parcial y refleja la influencia conjunta de una serie de factores. Por lo que es fácilmente mal interpretada como cambio técnico o variación en la productividad de la fuerza laboral si es que no se consideran las variaciones en el mercado del valor agregado que se le está otorgando a los productos fabricados.

2.3.3 Productividad Capital, enfocada en el Valor Agregado

- Definición

$$\frac{Cantidad\ de\ Valor\ Agregado}{Cantidad\ Factor\ Capital} = \frac{Utilidad\ del\ Ejercicio}{Valor\ Invertido}$$

- Interpretación

El índice de productividad capital muestra como el uso de capital por parte de la empresa genera valor agregado. La presente productividad refleja la influencia conjunta de la mano de obra, inputs intermedios, cambios tecnológicos, variación en la eficiencia, etc.

Al igual que la productividad laboral, las mediciones de productividad capital puede ser basada en el valor agregado o en la producción bruta que genera y se aplica el mismo razonamiento en lo que representa cada valor. El uso del valor agregado es menos sensible a la sustitución de inputs intermedios que al usar producción bruta.

Al medir el input de factor capital se busca identificar las variaciones en la calidad en la inversión en bienes o servicios. Es decir, con la productividad capital se puede identificar todo el aporte de capital que es necesario para alcanzar cierta cantidad de valor agregado. Es por esto que un aumento en la calidad de los bienes a entregar requiere un mayor consumo de factores capitales, lo que trae mayor producción pero una caída en la productividad capital.

- Propósito

Los cambios en la productividad del capital indican el grado en que el crecimiento del output puede ser logrado con los gastos más bajos en la forma de mejor preparación en tecnología y capacitación para productos de mayor calidad.

- Ventajas

Fácil interpretación.

- Limitaciones

La productividad del capital es una medida de productividad parcial y solo refleja el efecto conjunto de un gran número de factores. Muchas veces se confunde productividad del capital con la tasa de retorno de capital.

2.3.4 PFM Laboral-Capital, enfocada en el Valor Agregado

- Definición

$$\frac{Cantidad\ de\ Valor\ Agregado}{Cantidad\ de\ la\ Combinacion\ de\ Factor\ Laboral\ y\ Capital}$$

$$= \frac{Utilidad\ Ejercicio}{Combinacion\ de\ Trabajadores\ y\ Valor\ Invertido}$$

- Interpretación

Los índices de PFM Laboral y Capital muestran el perfil temporal de como los factores laborales y capitales son usados para generar valor agregado. Conceptualmente, la productividad laboral-capital no es una medida precisa de medición para cambios técnicos o tecnológicos. Es, sin embargo, un indicador de la capacidad del sector para contribuir al crecimiento de la renta por unidad de insumo.

En la práctica, este índice refleja los efectos combinados de cambio técnico, tecnológico, cambios en eficiencia y la variación en la capacidad de medir y detectar errores. El input de capital es un factor que complementa el uso de factor laboral, ponderado por el respectivo costo de uso de mano de obra y basado en los precios de bienes de capital que reflejen los cambios de calidad y técnicos que tienen que se deben aplicar por el factor laboral.

- Propósito

Análisis de factores macro y micro económicos, como la contribución de la industria a crecimiento de la empresa, industria y economía, entregando un análisis de los cambios estructurales de los procedimientos y de la tecnología presente en la empresa.

- Ventajas

Facilidad de aplicar y comparar a lo largo de distintas obras e industrias, entregando una idea conceptual del nivel de eficiencia de cada industria.

- Limitaciones

No es una buena medición para analizar cambios en la tecnología de la industria o empresa.

2.3.5 PFM Laboral-Capital-Intermedios

- Definición

$$\frac{Cantidad\ de\ Produccion\ Bruta}{Cantidad\ de\ Factores\ Combinados}$$
$$= \frac{Unidades\ Producidas}{Combinacion\ de\ Trabajadores\ y\ Valor\ Invertido}$$

- Interpretación

Muestra el perfil temporal de cómo se utilizan los inputs combinados de manera productiva para generar la producción bruta. Conceptualmente, la medida de la productividad Laboral-Capital-Intermedios capta el cambio técnico. En la práctica, refleja el cambio de eficiencia, economías de escala, las variaciones en la utilización de la capacidad de medición y errores.

- Propósito

Análisis del nivel tecnológico de la industria.

- Ventajas

Conceptualmente, las mediciones de PFM Laboral-Capital-Intermedios es la herramienta más apropiada para medir los cambios tecnológicos en cualquier industria, ya que tiene en consideración todos los factores, incluyendo los intermedios.

- Limitaciones

Se requiere una cantidad significativa de información para poder ser calculada.

2.4 BENCHMARKING

A pesar su importancia, muy pocas mediciones de desempeño o productividad han sido establecidas en las empresas constructoras. Como resultado, la información de productividad de la industria de la construcción suele ser baja o muy dispersa. De hecho, muchas empresas realizan mediciones y control de un amplio rango de variables en sus proyectos, pero solo unos pocos analizan la productividad de los procesos, lo que es base para tomar decisiones en la mejora de las metodologías de trabajo. Incluso muchas compañías realizan mediciones de empresas subcontratistas en vez de procesos claves realizados por ellos mismo, los que requieren de mayor control. Esto genera que sea difícil para las empresas determinar prioridades y definir los indicadores claves de productividad que le servirían para comparar su trabajo con otras empresas. Sin embargo, la efectiva implementación de mediciones de desempeño no es simplemente elegir el índice adecuado, también es necesario un profundo cambio en la toma de decisiones por parte de la empresa y de cómo va a retroalimentarse de los valores que vayan entregando dichos índices en comparación al resto de las empresas.

Un importante rol de las mediciones de productividad es permitir a las compañías realizar Benchmarking. Benchmarking es un proceso sistemático de medición y comparación del desempeño de una empresa versus una compañía similar en actividades claves del rubro. Después, las enseñanzas aprendidas de la comparación con otras empresas son usadas para establecer objetivos de mejoramiento de la

productividad y cambios en la organización. Dicho sistema debe ser una parte integral de la planificación y del proceso de mejora de toda empresa.

Uno de los mayores beneficios de crear un sistema de Benchmarking es que éste permite un trabajo más eficiente y que involucra a la administración a implementar un trabajo más proactivo en busca de la mejora de los resultados de las mediciones. Por lo tanto, el objetivo general del Benchmarking es fomentar el aprendizaje continuo de la administración y la empresa.

Los objetivos del Benchmarking pueden ser divididos en 4 diferentes tipos (Camp 1993):

1. **Interno:** En la mayoría de las construcciones grandes es posible realizar subdivisiones o cuadrillas para así poder comparar los avances y las productividades obtenidas por estos.
2. **Competitiva:** Este tipo concierne a la comparación de los índices de productividad en relación a la competencia, generalmente es realizado por empresas externas que prestan servicios de Benchmarking.
3. **Funcional:** Es una comparación de productividad a empresas que no forman parte de la competencia, pero que tienen alguna actividad de funcionalidad similar.
4. **Genérico:** Esta subdivisión es similar a la Funcional, pero se centra en los procesos que son comunes para todos los negocios e industrias. Esto es debido a que el Benchmarking actualmente se centra en los procesos más que en los resultados de específicos trabajos.

En los últimos años, programas de Benchmarking se han establecido en varios países como Australia, Brasil (Núcleo Orientado para a Inovação da Edificação, 2004), Chile (Corporación de Desarrollo Tecnológico, 2002), Dinamarca (Byggeriets Evaluerings Center, 2002), Reino Unido (Constructing Excellence, 2004), Estados Unidos (Construction Industry Institute, 2000), Hong Kong, Singapur y Holanda.

Dichos programas o iniciativas buscan (Costa et al.):

1. Orientar a las empresas a cómo realizar mediciones de productividad
2. Proveer valores de Benchmark para que las compañías puedan establecer metas y objetivos
3. Identificar y difundir las mejores prácticas o procesos en la industria de la construcción mediante informes y redes de clubes de Benchmark.

Cabe destacar que para poder realizar un buen sistema de Benchmarking es necesario que las empresas estén disponibles a entregar los resultados de sus mediciones de productividad y de sus procedimientos de trabajo a una empresa dedicada al Benchmarking, para que así puedan ser comparados, de forma anónima, por otras empresas del rubro.

En Chile, la Corporación de Desarrollo Tecnológico (CDT) posee un área dedicada a la prestación de servicios y asesorías de optimización de procesos productivos en la construcción llamado CALIBRE. Este programa realiza estudios técnicos de productividad para empresas constructoras o proveedoras de materiales de construcción, colaborando con el desarrollo de metodologías de mejoramiento y control de los procesos productivos.

CALIBRE mide, entre otras cosas, la productividad de las partidas claves que sirven como base para generar una red de Benchmarking para las empresas que forman parte del programa. Algunas de las partidas medidas por CALIBRE son el Moldaje, Hormigonado, Andamios, Trazado, Enfierradura, etc.

3 MÉTODO ALTERNATIVO DE MEDICIÓN PARA PRODUCTIVIDAD

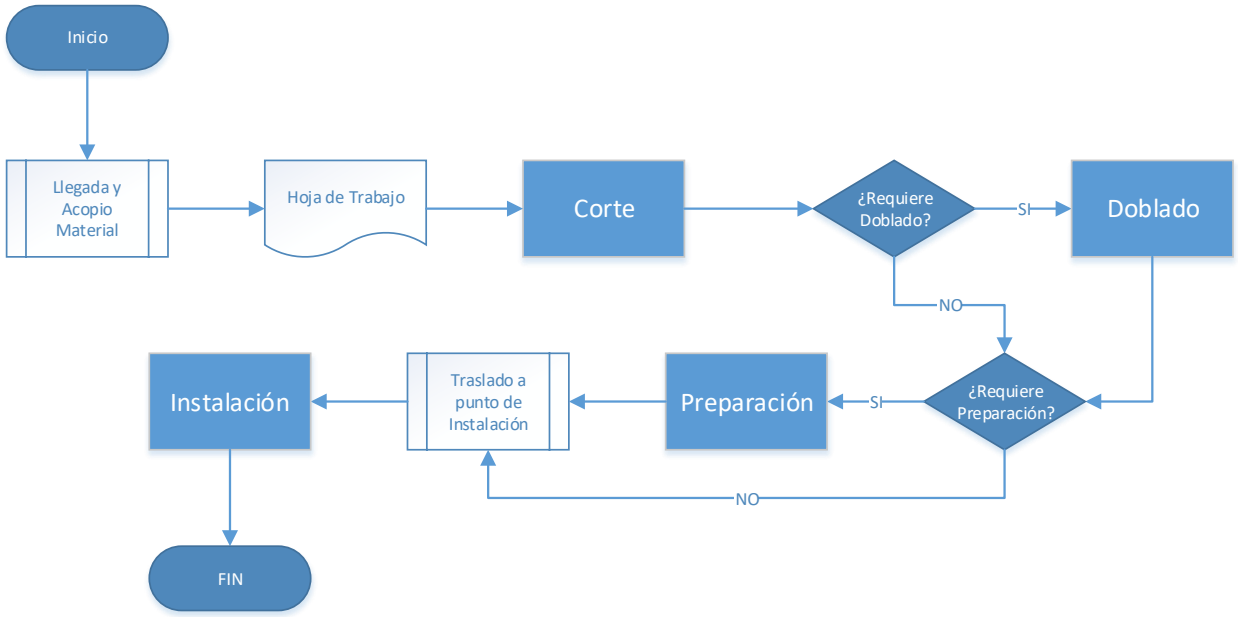
Para poder realizar un estudio de cómo medir la productividad, en qué actividades enfocarse y cómo analizarlas, es necesario elegir y adecuar un sistema de medición a la realidad actual de la construcción en Chile. El estudio pudo haber sido realizado por recopilación de información mediante teléfono, cuestionarios por correo u otros métodos de esa índole. Sin embargo, es necesario asumir que dichos métodos conllevan a problemas en la obtención de la información y en la claridad de ésta. Otra dificultad es la necesidad de recopilar información constantemente de las actividades realizadas por cada trabajador, lo que genera la necesidad de tener a personas dedicadas completamente a la tarea de medir, función que actualmente no existe en las obras.

Bajo estas premisas, una importante empresa constructora solicitó al autor diseñar un sistema que permitiera obtener índices de desempeño de los trabajadores y la tasa a la que se construye cada elemento o producto para aplicarlo en dos obras que se estaban realizando simultáneamente, una en la región de Valparaíso y otra en la Región Metropolitana, y así poder estudiar posibles mejoras a partir de los resultados.

El trabajo realizado por el autor consistió en formar un equipo de dos personas, los cuales eran Técnicos en Construcción, para durante un tiempo de tres meses efectuar mediciones de uso de tiempo por parte de los trabajadores en diferentes procesos propios de la construcción. Posteriormente con la mencionada información, durante un mes de trabajo se analizaron, discutieron y analizaron con Ingenieros de la empresa los resultados obtenidos y se propusieron las posibles mejoras a implementar.

El sistema de medición, en base a lo requerido por la empresa, se centró en recopilar la información del proceso productivo de enfierradura, comenzando con el Corte y Doblado de fierros, para después medir la instalación en cada elemento estructural. Una vez recopilada toda la información fue posible obtener índices de productividad para cada elemento según obra, según periodo en que se construyó, la productividad promedio que obtuvo cada trabajador, los rendimientos según los tipos de elementos, etc.

El proceso de enfierradura en una obra consta de 5 etapas principales, empezando con la “llegada y acopio del material”, pasando al “corte y doblado” según se vaya necesitando para su instalación, cabe destacar que el doblado no siempre es necesario, ni la cantidad de veces que requiere un doblez, por ejemplo las reparticiones de una losa usualmente van sin dobleces, pero los estribos de un pilar requieren hasta 5 dobleces. Saliendo del proceso de “corte y doblado”, las barras de fierro se trasladan al sector de “preparación”, en caso de que se esté aplicando este método en la obra, o directo al punto de “instalación”, donde se arma el elemento estructural. Se presenta modelo del proceso a continuación:



A continuación se describen en detalle los métodos utilizados en las mediciones en terreno, las consideraciones de qué factores medir y cómo catalogarlos, posteriormente se describe cómo cubicar los elementos producidos para que puedan ser relacionados a las mediciones tomadas en terreno. Finalmente, se expone cómo realizar los cálculos necesarios, complementando las mediciones y cubicaciones, para llegar a los índices de rendimiento de los trabajos ejercidos en cada obra.

3.1 Medición en Terreno

La medición en terreno es un proceso constante de recopilación de datos, en que se anota una serie de información con la mayor frecuencia que el medidor es capaz de ir registrando a los trabajadores, esto quiere decir, que según el tamaño de la obra, la cantidad de trabajadores e, incluso, el número de medidores, la cantidad de mediciones en un día laboral van a variar y, por consiguiente, la representatividad de cada medición.

Es fundamental que las mediciones se realicen todos los días, de lunes a viernes, y mientras dure la jornada laboral, para así llevar un registro continuo del avance de la producción, y porque es necesario tener detallado lo máximo posible todas las horas hombre que se utilizaron en cada elemento.

Para esto el medidor lleva un registro de la siguiente información por cada medición realizada:

1. Fecha y Hora en que se realizó la medición.
2. Elemento estructural que el trabajador está confeccionando o instalando.
3. Partida a la que pertenece:
   3.1. 'I': Instalación.
   3.2. 'DC': Doblado y Corte de Fierros.
   3.3. 'TM': Asistencia en Descarga de Materiales.
   3.4. 'CM': Confección de Materiales.
   3.5. 'NO': No aplica (asignado en caso de que el Uso de Tiempo sea IC o AU).
4. Uso del Tiempo Laboral:

4.1. Trabajo Productivo
   4.1.1.'MO': Materializando la Obra.
   4.1.2.'PM': Preparación de Materiales.
   4.1.3.'RT': Rehaciendo Trabajo.
4.2. Trabajo Contributivo
   4.2.1.'MM': Movimientos de Materiales en el lugar de Trabajo.
   4.2.2.'LP': Limpiando o Moviendo Escombros.
   4.2.3.'OT': Otros (Charlas Inicio de Jornada de Seguridad y Planificación, Instrucciones del Jefe de Cuadrilla, Trabajos Prevención de Riesgo).
4.3. Trabajo No Contributivo
   4.3.1.'CA': Caminando en la Obra sin motivo aparente.
   4.3.2.'NO': No visto en lugar de Trabajo.
   4.3.3.'NT': En el Lugar de Trabajo, pero NO Trabajando.
4.4. 'IC': Inclemencia Climática.
4.5. 'AU': Ausente del Trabajo.

En los Anexos se adjuntan las Planillas utilizadas en el Proyecto.

A continuación se describe el punto 2, 3 y 4 de la información levantada por el medidor.

3.1.1 Elemento Estructural y Partida del Trabajador

En cada medición es necesario anotar el Elemento Estructural en que el trabajador está ejerciendo sus labores, para así poder llevar un registro de cuantos trabajadores estuvieron involucrados en éste y cuantas horas se invirtieron.

Esta modalidad permite separar elementos estructurales de gran extensión, por ejemplo losas, en tramos más chicos, que se fueron construyendo en distintas etapas, para así poder comparar las productividades que van a arrojar cada elemento.

El ítem Partida del Trabajador se refiere a que labor debe realizar cada trabajador, ya que puede estar trabajando en un mismo elemento que otra persona, pero podría estar enfocado en la Confección de Materiales o en la Instalación. Esta diferenciación se realizó para que la administración de la obra pueda comparar distintas metodologías de trabajo.

3.1.2 Uso de Tiempo

En la medición es de suma importancia registrar el uso que le dan los trabajadores al tiempo por el que están contratados, para así poder calcular la productividad que presentan y la máxima a la que podrían optar si administraran bien su tiempo dentro del trabajo. Estos Usos de Tiempo se pueden catalogar en 2 grandes categorías que se explican a continuación:

3.1.2.1 Trabajo Que Agrega Valor

En el libro “Estrategia Competitiva” de Michael E. Porter se señala, “En términos competitivos, valor es la cantidad que los compradores están dispuestos a pagar por lo que una empresa provee”. En la compra de una construcción, el comprador o dueño le asigna un Valor a las componentes que están dentro de las instalaciones que posee. Por lo tanto, las actividades necesarias para generar estos componentes son actividades que “agregan valor”.

3.1.2.1.1 Trabajo Productivo (TP)

Es aquel trabajo que aporta en forma directa a la construcción o realización de un producto, con tareas o actividades como la fabricación, instalación, armado, etc. También forman parte de esta categoría los trabajos necesarios para aumentar la plusvalía de los productos, como por ejemplo el tiempo necesario para mejorar nivel de precisión en el alineamiento de muros, siempre y cuando sean trabajos que se están realizando por primera vez, la reparación o ajustes hechos por mala ejecución forman parte de trabajos que no agregan valor.

Como se señala en la clasificación de Usos de Tiempo señalada anteriormente, los trabajos productivos considerados en el estudio son: "Materializando la Obra", "Preparación de Materiales" y "Rehaciendo Trabajo".

3.1.2.2 Trabajo Que No Agrega Valor

Las actividades que agregan valor son solo una parte del trabajo realizado durante la construcción, cualquier observador o persona que estudie los procesos se dará cuenta que también existen actividades "contributivas" o "no contributivas", estas últimas pueden ser llamadas también como "ineficientes". Estos son explicados a continuación.

3.1.2.2.1 Trabajo Contributivo (TC)

Es todo trabajo que aporta a poder fabricar un producto, que debe ser realizado antes o después para así asegurar la buena entrega de éste. Actividades que son consideradas como TC son: discusiones de consulta, de planificación o chequeo, trazado y medición, retiro de escombros y limpieza, carga y descarga de materiales, distribución de materiales, etc.

Para el estudio y medición de las actividades, en el presente proyecto, se considera que trabajo contributivo es: "Movimientos de Materiales en el lugar de Trabajo", "Limpiando o Moviendo Escombros" y "Otros (Charlas Inicio de Jornada (Seguridad/Planificación), Instrucciones del Jefe de Cuadrilla, Trabajos Prevención de Riesgo)".

3.1.2.2.2 Trabajo No Contributivo (TNC)

Es aquel trabajo en que el tiempo invertido por el trabajador no aporta en ningún sentido a la ejecución de la obra, ya sea por falta de material, herramientas o equipos, por falta de instrucciones, ocio, reconstrucción de trabajos mal hechos, traslados en busca de materiales a más de 10 metros, etc.

Se consideraran como trabajo no contributivo las siguientes actividades: "Caminando en la Obra sin motivo aparente", "No visto en lugar de Trabajo" y "En el Lugar de Trabajo, pero NO Trabajando".

3.2 CUBICACIONES

Para que las mediciones tengan algún sentido y puedan entregar datos de productividad, es necesario medir y cuantificar la cantidad de unidades producidas que representa cada elemento, esto quiere decir, darle un valor estandarizado a cada producto para que éste pueda ser comparado con los de su mismo tipo.

En las cubicaciones es necesario medir los elementos que fueron producidos y, también, la preparación previa que requieren algunos materiales para poder ser utilizado, como es el caso de la enfierradura, que

requiere un trabajo previo de doblado y corte de las barras de acero según las especificaciones de cada elemento al que pertenece.

A continuación se explica cómo se realizaron las cubicaciones para poder utilizarlas en el sistema de medición propuesto.

3.2.1 Medición de elementos construidos

Paralelamente a las planillas de medición, se lleva un registro de todos los elementos en que se ha trabajado durante el periodo de medición, detallando su composición en unidades de medida adecuada al tipo de trabajo medido, por ejemplo:

- Enfierradura : Kilogramos
- Hormigón : m^3
- Moldaje : m^2
- Pintura : m^2
- Otras partidas

La información de la cubicación debe ser lo más completa posible, detallando la cubicación con todos los parámetros que el tipo de elemento permita, por ejemplo los elementos de armadura de acero se pueden cubicar detallando la cantidad de kilos de cada tipo de fierro, los moldajes pueden ser detallados según el largo y la altura de cada cara, etc.

Es muy importante que las cubicaciones concuerden con la cantidad de unidades que se deben utilizar para terminar dicho elemento, sin considerar lo que se haya incluido en los elementos adyacentes, aunque formen parte de éste.

A continuación se encuentra la cubicación de la armadura de tres elementos:

#	Rótulo	Diámetro de barra de acero $[mm]$							Total $[kg]$
		8	10	12	16	18	22	25	
1	208	275.08	0	0	0	0	0	0	275.1
2	209	122.62	0	0	0	0	0	0	122.6
3	210	136.42	0	10.8	0	0	0	0	147.2

Tabla 2 Ejemplo Cubicación de Elementos, Elab. Propia

3.2.2 Trabajos de preparación de materiales

Como se mencionó anteriormente, es necesario llevar un registro de la preparación de materiales. Al igual que las cubicaciones de elementos construidos, la preparación de materiales también puede ser cubicada detallando los distintos tipos de materiales que fueron confeccionados, con el objetivo de identificar la productividad a la que fueron preparados.

Se presenta a continuación la cubicación de la preparación de enfierradura, considerando la cantidad de fierros preparados terminados y el número de doblados que se debieron hacer según el día:

- Cubicación Fierro preparado:

#	Día	Diámetro de barra de acero $[mm]$							Total $[kg]$
		8	10	12	16	18	22	25	
1	14-Mayo-2013	431	122.14	34.2	109.44	44	0	0	740.78

Tabla 3 Ejemplo Cubicación Preparación de Enfierradura, Elab. Propia

- Cubicación Fierro doblado:

#	Día	Diámetro de barra de acero $[mm]$							Total $[unid]$
		8	10	12	16	18	22	25	
1	14-Mayo-2013	4317	263	0	3	6	2	0	4591

Tabla 4 Ejemplo Cubicación Doblado de Enfierradura, Elab. Propia

3.3 CÁLCULO DE PRODUCTIVIDAD

Una vez recopilada toda la información relacionada a las mediciones en terreno y las cubicaciones de elementos y preparación de materiales, fue posible realizar los cálculos de productividad obtenida en las partidas medidas dentro de la obra.

La productividad total en la construcción de un elemento se dividió en 2 tramos continuos, la preparación de materiales e instalación de estos. Para obtener el índice de desempeño laboral para la construcción de un elemento hay que sumar los recursos en horas hombre utilizados para poder terminarlo. Es decir:

$$Prod_{total} = \frac{Elem}{HH_{inst} + HH_{prep}} \quad => \quad Prod_{total} = \frac{1}{\frac{HH_{inst} + HH_{prep}}{Elem}}$$

$$Prod_{total} = \frac{1}{\frac{HH_{inst} + HH_{prep}}{Elem}} \quad => \quad Prod_{total} = \frac{1}{\frac{HH_{inst}}{Elem} + \frac{HH_{prep}}{Elem}}$$

Con:

- $Prod_{total}$: Productividad Total.
- $Prod_{inst}$: Productividad en Instalación.
- $Prod_{prep}$: Productividad en Preparación.
- HH_{inst}: Horas Hombre utilizadas en Instalación.
- HH_{prep}: Horas Hombre utilizadas en Preparación.

Finalmente:

$$Prod_{total} = \frac{1}{\frac{1}{Prod_{inst}} + \frac{1}{Prod_{prep}}}$$

De esta forma se demuestra que la productividad total en la fabricación de algún producto es el promedio armónico del rendimiento obtenido en todas las etapas por las que debió pasar. Gracias a esta propiedad, se puede calcular la productividad en instalación y en preparación de forma independiente.

Adicionalmente, es posible calcular la productividad máxima y óptima que se puede obtener en la fabricación de un producto, esto es en base al estudio del uso de tiempo de cada trabajador. En las mediciones se lleva un registro del Uso de Tiempo, en que se detalla el uso que se le da a la jornada laboral por cada persona. El uso de tiempo, como se señaló anteriormente, se puede clasificar en 2 grandes grupos: trabajos que agregan valor y trabajos que no agregan valor. Con dicha clasificación es posible estimar la productividad máxima que uno esperaría obtener de un trabajador si éste, por motivos administrativos y motivacionales, dedicara el cien por ciento de su tiempo a labores que agreguen valor.

Estimación que entrega un valor utópico, pero entregan una noción de cuanto es lo que falta por mejorar en el proceso.

A continuación se entrega un ejemplo del Uso de Tiempo de un trabajador tipo y como se agrupa el uso de tiempo en las mencionadas categorías.

USO DE TIEMPO		**%**	**%**
'PM'	TP	3.15	3.59
'RT'		0.00	0.00
'MO'		62.61	71.28
'MM'	TC	4.50	5.12
'LP'		0.00	0.00
'OT'		3.60	4.10
'NO'	TNC	5.41	6.16
'NT'		7.66	8.72
'CA'		0.90	1.02
'AU'		4.50	-
'IC'		7.66	-

Tabla 5 Ejemplo Clasificación Uso de Tiempo, Elab. Propia

Los usos de tiempo se clasifican según trabajo productivo, contributivo y no contributivo, agrupándolos y eliminando las ausencias e inclemencias climáticas, elementos que son ajenos al proceso productivo, los porcentajes resultantes son:

USO DE TIEMPO	**%**
TP	74.87
TC	9.23
TNC	15.90

Tabla 6 Ejemplo Clasificación Agrupada de Uso de Tiempo, Elab. Propia

Para realizar los cálculos de los rendimientos dichas etapas se utilizan 3 algoritmos de análisis de datos, diseñados por el autor, los cuales procesan de forma independiente la Instalación y la Preparación de materiales. Finalmente, se realiza el cálculo del tercer algoritmo, que permite obtener las productividades máximas que se podrían tener en Instalación y Preparación si se administrara de mejor forma el uso que le dan los trabajadores a su jornada laboral.

Se detalla a continuación los algoritmos mencionados anteriormente y la productividad que entrega cada uno.

3.3.1 Productividad de instalación

Para el cálculo del desempeño laboral en la instalación de materiales se analizan los trabajos realizados según:

$$Prod.Instalación = \frac{Unidad\ del\ Elemento}{Horas\ Hombre}$$

La Unidad del Elemento utilizada va a depender de la partida que se esté midiendo, la que va a estar presente en la información levantada a través de las planillas de Cubicaciones.

Las Horas Hombre es la cantidad de tiempo que se le dedicó a dicho elemento. Esta información está presente en las planillas de mediciones y se obtiene mediante un estimativo en que cada medición realizada a cada trabajador representa una cierta cantidad de tiempo que éste dedicó a esa faena, es por esto que es de suma importancia la realización de la mayor cantidad de mediciones en un día por trabajador, para así poder obtener una mejor representatividad y exactitud en las productividades calculadas. Para detallar más el punto anterior, se presenta el siguiente ejemplo:

Fecha	**Hora**	**ID Trabajador**	**Elemento**
22-05-13	9:04	21	Muro M1 (1P / A-C)
22-05-13	10:13	21	Muro M1 (1P / A-C)
22-05-13	11:15	21	Muro M1 (1P / A-C)
22-05-13	12:58	21	Muro M1 (1P / A-C)
22-05-13	14:40	21	Viga V21 (1P / C-D)
22-05-13	16:20	21	Viga V21 (1P / C-D)
22-05-13	17:15	21	Losa 1P (C-D / 1-3)

Tabla 7 Ejemplo de Planilla de Mediciones, Elab. Propia

Se inician los cálculos fijando un supuesto de que la jornada laboral útil es de 8 horas, a pesar de las 9 horas reales, ya descontado el almuerzo. Las charlas diarias de primera hora más el traslado inicial y final al puesto de trabajo de cada trabajador no es considerado, porque son parte del traslado inicial que debe realizar cada trabajador. El resto de los traslados, a cualquier hora del día, si son considerados y no se eliminan.

Como se puede ver en la Tabla Nº 7, el trabajador ID:21 tuvo 7 mediciones en el día 22-05-2013, esto significa que cada medición representa 1.143 horas de trabajo, en base al supuesto de las 8 horas laborales útiles. Adicionalmente, solo 4 de las 7 mediciones fueron en el elemento “Muro M1 (1P / A-C)”, por lo tanto, el trabajador 21, el día 22-05-2013, le dedico 4.571 Horas Hombre.

Cabe destacar que, producto de este procedimiento, las horas reales de trabajo realizadas en un elemento dado son aproximadas, ya que el trabajador pudo haber comenzado su trabajo en el elemento “Muro M1 (1P / A-C)” a las 8:30 o a las 9:04 y la planilla no podría discriminar dicha diferencia. Es por esto que es de suma importancia realizar la mayor cantidad de mediciones en un día y durante el mayor tiempo posible, para así ir eliminando errores por la representatividad de cada medición.

Es necesario destacar que el instante en que se tomó cada medición, representa una “foto” del trabajador y de la actividad que está realizando en ese momento, foto que se asume representa la labor realizada durante un lapso de tiempo definido por la cantidad de mediciones tomadas en un día. Debido a esto es importante tomar la mayor cantidad de mediciones en un día y por varias jornadas laborales, para así disminuir los efectos de esta asumida representatividad.

De esta forma, la productividad en la construcción del elemento “Muro M1 (1P / A-C)” sería la proporción entre el peso en unidades del elemento y la cantidad total de Horas Hombre que se aplicaron, en todos los días que se trabajó en él y por todos los trabajadores que estuvieron ahí.

Las características de dicho elemento, obtenidas en colaboración con oficina técnica de cada obra, en función de planos, detalles y modificaciones de terreno, se detallan a continuación:

Diámetro Barra $[mm]$ / Composición Elemento $[kg]$

Elemento	**8**	**10**	**12**	**16**	**18**	**22**	**Total *[kg]***	**HH Estimadas**
Muro M1 (1P / A-C)	23.48	503.65	0.00	38.68	14.99	22.39	603.19	28

Tabla 8 Ejemplo Cubicación de Elemento Medido, Elab. Propia

A modo de ejemplo se establece que la estimación de horas hombre totales que se requirió para terminar el elemento fueron 28, dando así la siguiente productividad de instalación:

$$Prod_{inst} = \frac{603.19}{28} = 21.542\ [Kg/HH]$$

A continuación se presenta el diagrama de flujo que ilustra el método en que el algoritmo utilizado analiza la información para calcular las productividades en instalación.

3.3.1.1 Algoritmo

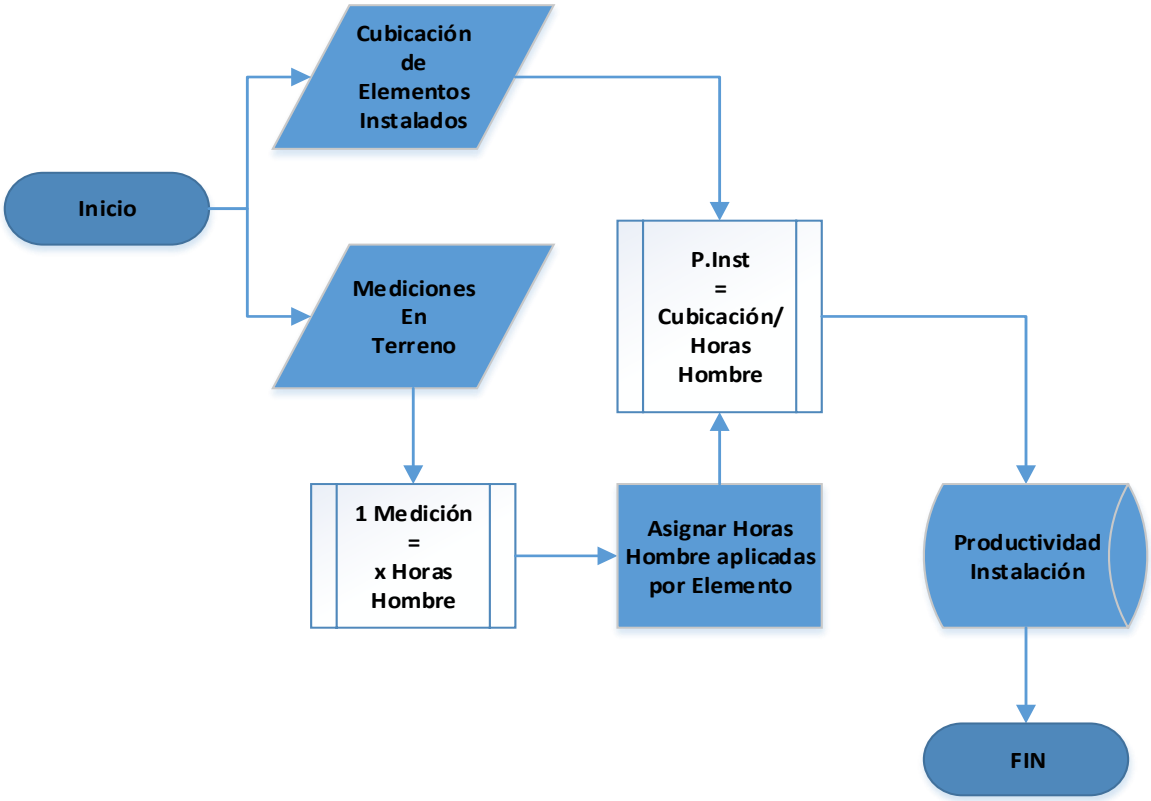


Figura 8 Algoritmo para Cálculo de Productividad en Instalación, Elab. Propia

3.3.2 Productividad de la preparación de materiales

La productividad laboral de preparación de materiales es uno de los componentes ya mencionados del índice de desempeño total. Para poder calcularlo se debe considerar que la preparación de materiales es

el trabajo realizado previo a la instalación y en un sitio distinto a ésta, en otras palabras, los materiales preparados durante su misma instalación son considerados como una actividad de instalación.

El cálculo de la productividad de preparación se realiza de forma similar a la instalación, midiendo el uso de tiempo, la actividad y el elemento en que están trabajando las personas destinadas a esta tarea. Cuando la preparación de materiales es realizada sin un claro destino que tendrán las partes en que se está trabajando, se realiza un cálculo estimado de las horas hombre necesarias para preparar cada tipo de elemento y así poder asignarle a cada elemento terminado una estimación de las horas hombres que se requirieron para preparar dichas partes.

La metodología para encontrar el consumo de horas hombre que genera la preparación de materiales es buscar una lista de factores p que represente de mejor forma los resultados obtenidos en las mediciones. Para ello se toman muestras aleatorias de trabajos diarios, con los que se realiza una estimación de p, llamada p^*, en función de las horas hombre utilizadas cada día y, posteriormente, se compara con el resto de la base de datos, buscando así la muestra que genere el valor p^* con mejor representatividad. Se presenta a continuación la metodología antes descrita, empezando por la matriz que representa el cálculo de las horas hombre según el trabajo de cada día:

$$A * p = HH \qquad (1)$$

Donde:

- A : Matriz $m\ x\ n$, representa el trabajo medido de n elementos distintos en m días.
- p : Matriz $n\ x\ 1$, indica el costo en Horas Hombre para realizar cada elemento n.
- HH : Matriz $m\ x\ 1$, contiene los valores medidos de las Horas Hombre utilizadas en m días.

A continuación se toma una muestra de $n-1$ días de trabajo de la matriz A de los n elementos. A dicha muestra se le agrega una fila que contiene la suma de los n elementos realizados durante el período de medición. Cada muestra, denominada AA, toma la siguiente forma:

$$AA = \begin{bmatrix} A_{(q,1)} & A_{(q,2)} & \cdots & A_{(q,n)} \\ A_{(v,1)} & A_{(v,2)} & \cdots & A_{(v,n)} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ A_{(r,1)} & A_{(r,2)} & \cdots & A_{(r,n)} \\ \sum_{i=1}^{m} A_{(i,1)} & \sum_{i=1}^{m} A_{(i,2)} & \cdots & \sum_{i=1}^{m} A_{(i,n)} \end{bmatrix}_{n\ \ x\ \ n}$$

En que:

- $q, v, \ldots, r$ son números naturales aleatorios distintos menores o igual a n.

Posteriormente, se genera la matriz HH_{AA} de dimensión $n\ x\ 1$ que contiene los valores de horas hombres relacionadas a los días incluidos en la muestra, es decir:

$$HH_{AA} = \begin{bmatrix} HH_{(q,1)} \\ HH_{(v,1)} \\ \vdots \\ HH_{(r,1)} \\ \sum_{i=1}^{m} HH_{(i,1)} \end{bmatrix}_{n \ x \ 1}$$

Donde:

- $q, v, \dots, r$ son los mismos datos elegidos para la muestra AA.

Ya teniendo las matrices AA y HH_{AA} generadas se calcula el vector p^*, el cual representa el consumo de Horas Hombre que requiere cada elemento para que se cumpla (1).

$$p^* = HH_{AA}/AA \qquad (2)$$

Donde:

- p^* : vector de dimensiones $n \ x \ 1$.

Una vez obtenido p^* es necesario comprobar si sus valores son coherentes entre ellos mismos y con el resto de las mediciones. Es por esto que p^* debe poseer todos sus valores positivos y mayores a cero, es decir:

$$p^*(i,1) > 0 \qquad \forall i \in [1,n] \qquad (3)$$

Es necesario hacer este análisis con todas las combinaciones posibles de muestras p^*, la cantidad de combinaciones disponibles a partir de la matriz A es:

$$\#\ Combinaciones\ p^* = \frac{m!}{\big(m-(n-1)\big)!\,(n-1)!}$$

Donde:

- m, n : Dimensiones de la matriz A.

Ya realizado el cálculo de todos los vectores p^* y chequeado que cumplan con la condición dada por (3), se calcula la matriz de uso de horas hombre estimado a partir de los distintos vectores p^*:

$$A * p^* = HH^* \qquad (4)$$

Finalmente hay que estudiar cómo se diferencian los datos estimados HH^*, entregados por cada vector p^*, a los valores reales de la medición HH, esto se hace calculando el error absoluto de cada valor $HH^*_{(i,1)}$ con respecto a su par $HH_{(i,1)}$ y escogiendo, de esta forma, el vector p^* que entregue el menor error entre HH^* y HH.

En la siguiente tabla se encuentra un ejemplo del trabajo realizado en la preparación de materiales (barras de acero para ser especifico) y la cantidad de horas hombre que se utilizó cada día durante un periodo de 9 días, estas horas hombres son obtenidas a partir de las mediciones, de forma similar en que se calcula la productividad en instalación, pero con las mediciones que señalan que un trabajador estaba en la

partida 1.1. "*'DC': Doblado y Corte de Fierros.*". También está la suma del trabajo realizado en cada tipo de barra y el consumo total de horas hombre de todo el periodo de medición.

Diámetro Barra $[mm]$ / Preparacion Diaria $[kg]$

Día	**8**	**10**	**12**	**16**	**18**	**22**	**HH**
17-05-13	523.3	85.5	99.09	124.8	54	177	19.42
20-05-13	205.95	0	24.3	70.4	0	0	8.28
22-05-13	336.74	43.71	63	99	0	96	10.67
23-05-13	418.94	40.92	158.4	124.8	108	96	17.33
24-05-13	1162.78	570.71	5.4	33.6	0	0	33.33
29-05-13	528.25	0	126	235.2	0	0	48
30-05-13	1637	1795.62	636	1984	0	0	43.2
03-06-13	1364	58	149.4	164.8	0	0	38.4
04-06-13	1517.35	0	132.3	153.6	0	0	41.6
TOTAL	**7694.31**	**2594.46**	**1393.89**	**2990.2**	**162**	**369**	**260.25**

Tabla 9 Ejemplo de Preparación de Enfierradura, Elab. Propia

De la tabla se obtienen las matrices:

$$A = \begin{bmatrix} 523.3 & 85.5 & 99.09 & 124.8 & 54 & 177 \\ 205.95 & 0 & 24.3 & 70.4 & 0 & 0 \\ 336.74 & 43.71 & 63 & 99 & 0 & 96 \\ 418.94 & 40.92 & 158.4 & 124.8 & 108 & 96 \\ 1162.78 & 570.71 & 5.4 & 33.6 & 0 & 0 \\ 528.25 & 0 & 126 & 235.2 & 0 & 0 \\ 1637 & 1795.62 & 636 & 1984 & 0 & 0 \\ 1364 & 58 & 149.4 & 164.8 & 0 & 0 \\ 1517.35 & 0 & 132.3 & 153.6 & 0 & 0 \end{bmatrix} \qquad HH = \begin{bmatrix} 19.42 \\ 8.28 \\ 10.67 \\ 17.33 \\ 33.33 \\ 48 \\ 43.2 \\ 38.4 \\ 41.6 \end{bmatrix}$$

A continuación se toma la primera combinación de 5 días, debido que en la obra se está trabajando con 6 tipos de elementos, adicionalmente se incluye el Total del ejercicio:

$$AA = \begin{bmatrix} 523.3 & 85.5 & 99.09 & 124.8 & 54 & 177 \\ 205.95 & 0 & 24.3 & 70.4 & 0 & 0 \\ 336.74 & 43.71 & 63 & 99 & 0 & 96 \\ 418.94 & 40.92 & 158.4 & 124.8 & 108 & 96 \\ 1162.78 & 570.71 & 5.4 & 33.6 & 0 & 0 \\ 7694.31 & 2594.46 & 1393.89 & 2990.2 & 162 & 369 \end{bmatrix} \qquad HH_{AA} = \begin{bmatrix} 19.42 \\ 8.28 \\ 10.67 \\ 17.33 \\ 33.33 \\ 260.25 \end{bmatrix}$$

Después se realiza el cálculo del vector p^* según la ecuación (2):

$$p^* = \begin{Bmatrix} 0.036276608214793206 \\ -0.016822351321072557 \\ -0.05855951626865018 \\ 0.03170211340186843 \\ 0.07777584972980771 \\ -0.0027056226652645296 \end{Bmatrix}$$

El valor obtenido p^* de la muestra seleccionada se descarta debido a que uno o más de sus componentes tienen valores inferiores a cero. Una vez llegada a esta etapa se vuelve a realizar el procedimiento con

todas las combinaciones disponibles en el ejercicio, registrando todos los vectores p^* en que todos sus valores sean positivos.

El número total de combinaciones de muestras AA es:

$$\frac{m!}{\big(m-(n-1)\big)!\,(n-1)!} = \frac{(9)!}{\big(9-(6-1)\big)!\,(6-1)!} = 126$$

De esta forma, la matriz P^* que resulta de los 126 vectores que cumplen la condición de poseer todos sus valores positivos son 3, que se representan a continuación:

$$P^* = \begin{Bmatrix} 0.0254 & 0.0254 & 0.0254 \\ 0.0061 & 0.0061 & 0.0061 \\ 0.0142 & 0.0155 & 0.0165 \\ 0.0081 & 0.0066 & 0.0055 \\ 0.0281 & 0.0178 & 0.0518 \\ 0.0017 & 0.0129 & 0.0027 \end{Bmatrix}$$

Ahora es necesario calcular el error porcentual absoluto que implica el uso de los vectores p^* para la estimación de Horas Hombres, a continuación está el error generado en el cálculo diario de cada vector:

Día	$\boldsymbol{p_1^*}$	$\boldsymbol{p_2^*}$	$\boldsymbol{p_3^*}$
17-05-13	7.14	0.00	0.00
20-05-13	25.85	26.68	27.27
22-05-13	0.00	9.56	0.00
23-05-13	0.00	0.00	15.69
24-05-13	0.00	0.00	0.00
29-05-13	64.39	64.75	65.01
30-05-13	79.76	74.75	71.21
03-06-13	0.00	0.00	0.00
04-06-13	0.00	0.00	0.00
TOTAL	**177.14**	**175.74**	**179.18**

Tabla 10 Error de Estimación según Vector p, Elab. Propia*

Se aprecia que la suma de los errores de los 3 vectores tiene valores similares, pero se decide utilizar el vector p_2^* como el más representativo del ejercicio por ser el vector con el menor valor de la sumatoria de sus errores. Cabe destacar que a medida que las mediciones contienen mayor cantidad de días de trabajo, mayor su precisión.

$$p_2^* = \begin{Bmatrix} 0.0254 \\ 0.0061 \\ 0.0155 \\ 0.0066 \\ 0.0178 \\ 0.0129 \end{Bmatrix}$$

Finalmente, con este vector se le multiplica a cada elemento para saber cuánto es el consumo de horas hombre que requirió su preparación, por ejemplo, tomando un elemento cualquiera con las siguientes características:

Diámetro Barra $[mm]$ / Composición Elemento $[kg]$								
Elemento	**8**	**10**	**12**	**16**	**18**	**22**	**Total *[kg]***	**HH Estimadas**
Muro M1 (1P / A-C)	23.48	503.65	0.00	38.68	14.99	22.39	603.19	4.4796

Tabla 11 HH Estimadas de Preparación según Elemento, Elab. Propia

Por lo tanto, la productividad en preparación de dicho elemento es:

$$Prod_{prep} = \frac{603.19}{4.4796} = 134.65\ [Kg/HH]$$

Se presenta en el punto *3.3.2.1* el diagrama de flujo que representa el método implementado para el cálculo de la productividad de preparación.

3.3.2.1 Algoritmo

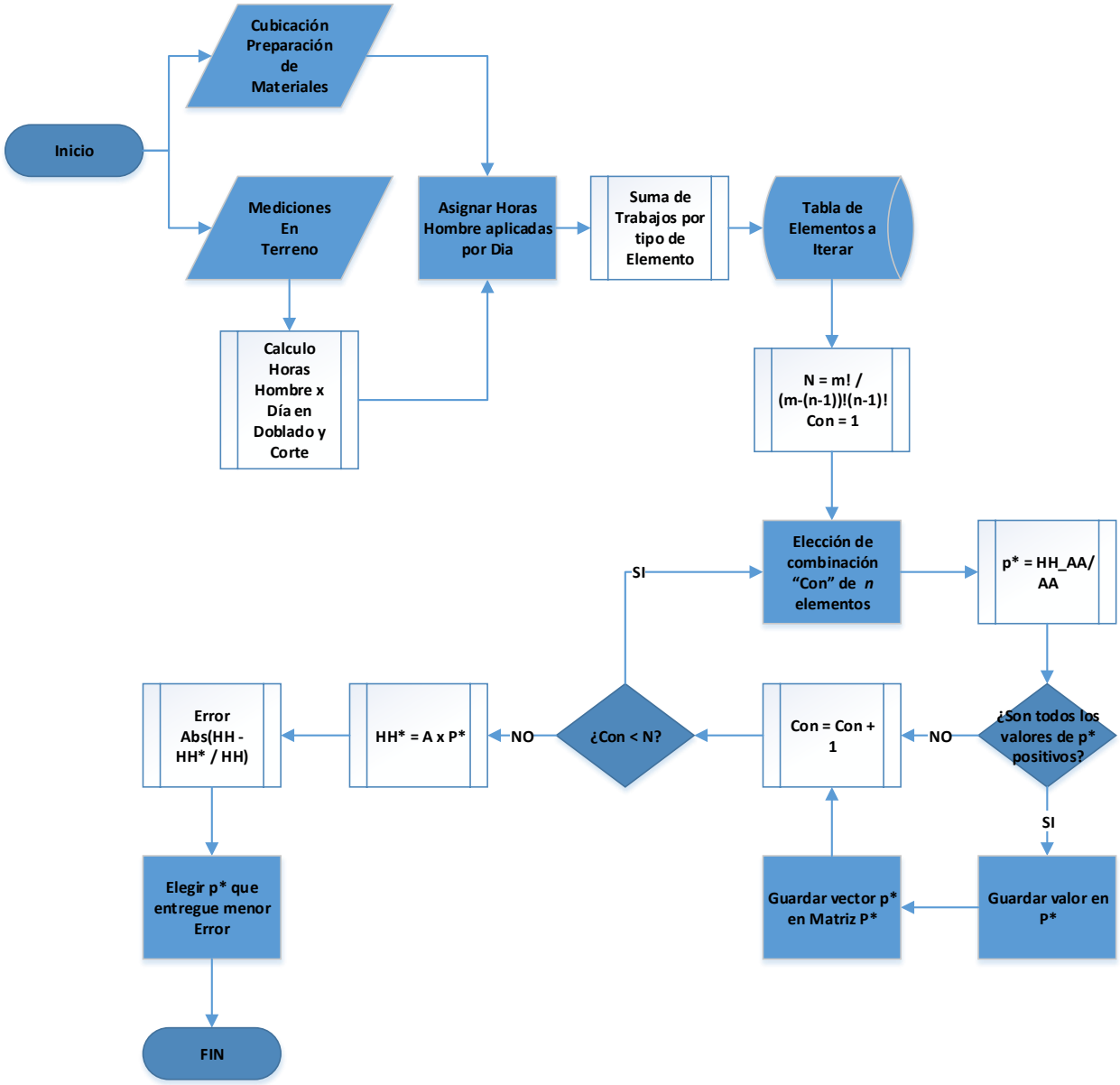


Figura 9 Algoritmo para Cálculo de Productividad en Preparación de Enfierradura, Elab. Propia

3.3.3 Productividad total y máxima esperada (Uso óptimo de tiempo)

Como se señaló en el comienzo del inciso *3.3*, la productividad total en la construcción de un producto es el promedio armónico entre la productividad en preparación e instalación que se registró del mismo. Este cálculo, de fácil realización, es de suma importancia para ver el promedio de rendimiento de las dos etapas que se están considerando en el estudio.

Con el análisis de la productividad total permite a la empresa constructora diseñar programas de mejora e innovación de procedimientos para así optar a un mejor rendimiento en las labores de los trabajadores,

pudiendo así comparar las diferencias entre la preparación y la instalación y los costos que tendría la incorporación de nuevas tecnologías de trabajos.

A su vez es posible considerar que la productividad parcial o total obtenida durante el estudio es una medida que está influida por el uso que le da cada trabajador a su tiempo laboral. Como se mencionó anteriormente, en todo el tiempo que cada trabajador está desarrollando sus actividades laborales, no siempre se encuentra realizando tareas que agreguen valor o ayuden al desarrollo de la obra, estos tiempos también pueden ser trabajos no contributivos o pérdidas. Dichos momentos en que un trabajador puede estar usando su tiempo laboral en tareas que no agregan valor, como distracciones o trabajos innecesarios, es tiempo que hace disminuir la cantidad de trabajo que puede realizar en una hora, disminuyendo así la productividad potencial a la que podría optar dicho trabajador.

Es por esto que otro enfoque que el empleador puede hacer a las mejoras que desea implementar en una obra, con el objetivo de aumentar el rendimiento de cada trabajador, no necesariamente deben apuntar a acelerar o agilizar el trabajo de cada persona, sino que también es necesario buscar metodologías que ayuden a disminuir los trabajos contributivos (TC) o no contributivos (TNC) que se estén realizando. De esta forma, el trabajador puede trabajar con el mismo ritmo de siempre, pero al tener menor cantidad de espacios de tiempo no productivos, su rendimiento aumentaría.

Como ejemplo se presentan 2 mediciones realizadas en el mismo año en Finlandia y Suecia (Terje Ka, 2010), en dos obras de gran importancia pero que tuvieron una muy mala productividad:

	Colegio (Finlandia)	***Puente (Suecia)***
TP	49.7%	31%
TC	26.9%	26%
TNC	23.4%	43%

Tabla 12 Ejemplo de Uso de Tiempo en Obras Extranjeras, Elab. Propia

Con los resultados obtenidos en productividad de dichos proyectos, se puede calcular la productividad óptima y máxima de los trabajadores.

$$Prod_{Opt} = Prod_{Total} * \frac{TP\% + TC\%}{TP\%}$$

$$Prod_{Max} = Prod_{Total} * \frac{TP\% + TC\% + TNC\%}{TP\%}$$

De esta forma, las productividades encontradas en las obras del ejemplo aumentarían en (valores en relación a Productividad Total):

	Colegio (Finlandia)	***Puente (Suecia)***
$\boldsymbol{Prod_{Total}}$	100.00 %	100.00 %
$\boldsymbol{Prod_{Opt}}$	154.12 %	183.87 %
$\boldsymbol{Prod_{Max}}$	201.21 %	322.58 %

Tabla 13 Ejemplo de Proyección de Productividad Óptima y Máxima, Elab. Propia

Se aprecia que si se hubiese aplicado una buena gestión del uso de tiempo de los trabajadores era posible aumentar significativamente la productividad obtenida en el colegio de Finlandia y el puente de Suecia, aumentando en 54% y 84% los rendimientos respectivamente.

La productividad máxima es un parámetro que señala cual es el rendimiento del trabajador cuando le dedica el 100% de su tiempo a labores productivas, el problema que para eliminar el TC hay que dejar de lado algunas labores que son necesarias para el desarrollo del proyecto, como son el tiempo que se requiere en entender los planos o especificaciones de las tareas que debe realizar cada trabajador, o maniobras de prevención de riesgos, es por esto que la productividad máxima es un parámetro que sirve para comprar el trabajo que realiza cada trabajador, que tan rápido puede levantar o construir cierto elemento, pero no sirve como una productividad que sea posible alcanzar con la tecnología actual.

Al igual que en los puntos anteriores, se presenta a continuación un algoritmo de cálculo para las productividades total, optima y máxima.

3.3.3.1 Algoritmo

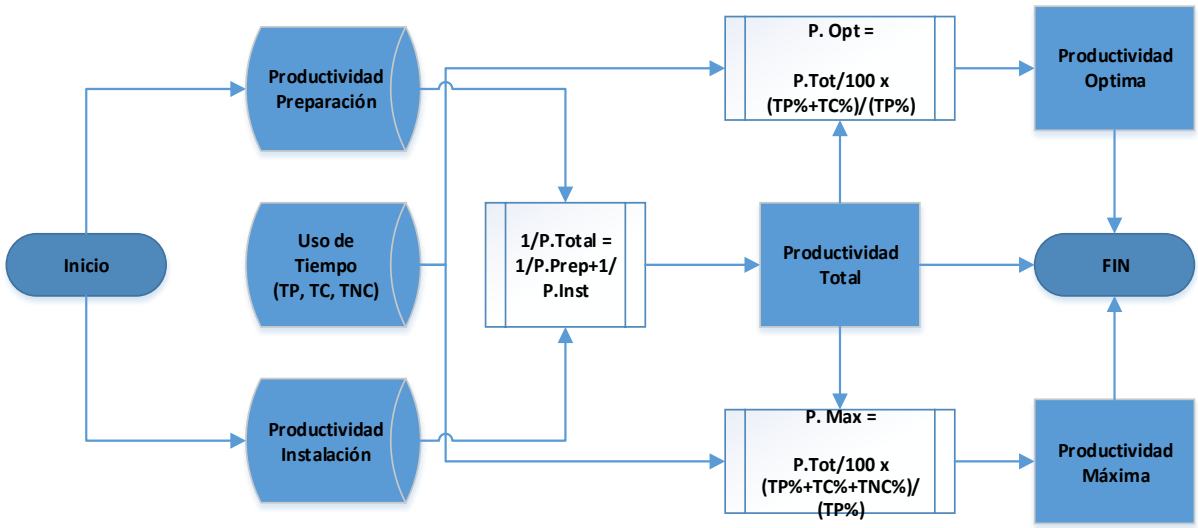


Figura 10 Algoritmo para Cálculo de Productividad Total, Elab. Propia

4 PRODUCTIVIDAD MEDIDA EN LAS OBRAS

Para desarrollar este estudio e implementación del sistema de medición propuesto, se ralizaron mediciones de todos los trabajadores dedicados al proceso de enfierradura en 2 obras: Espacio 3 en Santiago y Parque Magnolio en Valparaíso; también se registró el elemento estructural que cada trabajador estaba confeccionando y su respectiva cubicación. En la primera obra se empezó a medir cuando se estaba construyendo el segundo subterráneo del edificio, de dos, y parte del estacionamiento. En cambio, la segunda obra, Parque Magnolio, estaba en la fase de fundaciones al comienzo del estudio.

Las mediciones, que se realizaron de forma continua durante poco menos de 3 meses, fueron realizadas por medidores capacitados, que se les explicó el proceso de medición diseñado, el método en que debían medir y cómo llevar el registro, que se encuentra estandarizado para poder realizar el análisis de los datos.

Una vez terminadas las mediciones fue posible obtener el detalle de las distintas actividades en que los trabajadores ocuparon su tiempo, el tiempo promedio que demoraron en cortar y doblar cada tipo de fierro y, finalmente, el tiempo (en horas hombre) que requirió la fabricación de cada elemento, finalmente se obtuvo la productividad de los trabajos realizados en el periodo.

4.1 CASOS ESTUDIADOS

Las obras medidas en el presente proyecto fueron Espacio 3 y Parque Magnolio, ubicadas en San Joaquín, Santiago y en Cerro Alegre, Valparaíso respectivamente, ambas obras fueron medidas diariamente por un período aproximado de 3 meses y las características principales de dichas obras son:

4.1.1 Espacio 3

- Precio Contrato: U.F. 257.309,05
- Fecha inicio de obras: 02-Enero-2013
- Ubicación: Vicuña Mackenna N° 4927, San Joaquín.
- Superficie (m^2): 20.098
- Descripción: Edificio de hormigón armado de 29 pisos y 2 subterráneos.
- Niveles Medidos: Subterráneo 1 hasta Piso 5
- Número Total Trabajadores: 37
- Periodo de Medición: 13-Mayo-13 a 30-Julio-13
- Maquinas Utilizadas
    - Instalación: 1 Grúa Pluma
    - Doblado/Corte: Ninguna

4.1.2 Magnolio

- Precio Contrato: U.F. 264.007,7
- Fecha inicio de obras: 01-Abril-2013
- Ubicación: Guillermo Munich 203, Valparaíso.
- Superficie (m^2): 14.328,3
- Descripción: Edificios habitacionales de hormigón armado de entre 4 y 6 pisos.
- Niveles Medidos: Subterráneo 2 hasta Piso 1
- Número Total Trabajadores: 29

- Casa 8
- Subcontrato 21

- Periodo de Medición: 13-Mayo-13 a 25-Julio-13
- Maquinas Utilizadas
  - Instalación: 2 Grúas Pluma
  - Doblado/Corte: **Casa:** Ninguna
    Subcontrato: Doblado + Corte

4.2 Consideraciones Previas

- Cada jornada laboral tiene una duración de 8 horas.
- Se pidió la realización de mínimo 5 mediciones diarias, por lo que una medición representa como mínimo 1.6 horas en el uso de tiempo de cada trabajador, en algunos días, se hicieron más mediciones, llegando incluso a 8. En dichos casos se ponderó el peso en horas hombre de las mediciones de la forma señalada anteriormente.
- Los promedios de productividad, tanto en instalación como en doblado y corte, fueron calculados mediante la ponderación según el peso del elemento y la cantidad de horas que se requirieron para su construcción.

4.3 Análisis Uso de Tiempo

En el análisis de Uso de Tiempo registrado mediante el método de mediciones implementado, es posible obtener la información del uso de tiempo en las distintas partidas existentes en las obras, también se puede tener un análisis de la eficiencia de cada trabajador e incluso según la época en que se realizaron las mediciones, comparando uso de tiempo los diferentes días de la semana y su variación en los distintos meses.

4.3.1 Global Según Obra

En la siguiente tabla se muestran los rangos de distribución en que se mueve el uso de tiempo de cada obra como un promedio de las 10 semanas de mediciones, agrupando los usos de tiempo en sus respectivas categorías (TP, TC y TNC).

	Espacio 3	**Parque Magnolio**
TP %	78.63	79.85
TC %	14.65	12.38
TNC %	6.72	7.77

Tabla 14 Uso de Tiempo en Parque Magnolio y Espacio 3, Elab. Propia

Se puede apreciar que, de manera global, el Trabajo Productivo (TP), Trabajo Contributivo (TC) y No Contributivo (TNC) se mantienen dentro rangos similares sin importar la obra que se desee analizar.

4.3.2 Según Partida

Para tener una mejor idea de cómo se distribuye el uso de tiempo de los trabajadores de cada obra se procede a mostrar de forma explícita el porcentaje según las 3 partidas claves de cada obra y las 9 formas de Uso de Tiempo establecidos.

	'Instalación'		'Confección Materiales'		'Doblado/Corte'		
	Espacio3	**Magnolio**	**Espacio3**	**Magnolio**	**Espacio3**	**Magnolio**	
'PM'[1]	2.48	0.23	14.29	79.84	**78.84**	**78.01**	TP
'RT'[2]	0.13	0.10	0.00	0.00	0.00	0.02	
'MO'[3]	**76.65**	**80.49**	63.49	0.81	0.00	0.07	
'MM'[4]	4.98	8.27	3.17	**14.46**	1.32	8.47	TC
'LP'[5]	0.11	0.99	0.00	0.00	0.14	1.02	
'OT'[6]	9.58	2.04	**14.29**	0.20	10.37	1.68	
'NO'[7]	2.37	3.62	4.76	2.65	4.59	4.09	TNC
'NT'[8]	3.55	1.78	0.00	1.43	4.31	5.11	
'CA'[9]	0.15	2.47	0.00	0.61	0.42	1.53	

Tabla 15 Detalle de Uso de Tiempo en Parque Magnolio y Espacio 3, Elab. Propia

En la partida de **Instalación**, para Espacio 3 y Parque Magnolio, el principal Uso de Tiempo (UdT) es MO (Materializando Obra) con un valor de 76.65%. En cambio, el segundo uso de tiempo de más relevancia en cada obra es distinto, siendo OT (Otros) para Espacio 3 y MM (Moviendo Materiales) para P. Magnolio, con 9.58% y 8.27% respectivamente. Esto se debe a que:

- En **Espacio 3** se trabajó mediante la instalación y confección de los elementos estructurales en sus respectivas ubicaciones, eliminando la posibilidad de "producción en cadena" como es el caso de la confección de materiales en banca, causal de que se tenga que dedicar mayor tiempo a escuchar las instrucciones de los supervisores y a revisar los planos. También cabe destacar que en Julio se realizaron charlas diarias de capacitación durante una semana.
- **Parque Magnolio** tuvo un gran movimiento de materiales debido a que es fundamental en la metodología de trabajo de la obra, en que, gracias a la gran cantidad de elementos estructurales de las mismas características y composición, se pudo realizar la confección de éstos en banca, para posteriormente trasladarlos a sus respectivos puntos de instalación. Esta metodología optimiza los tiempos utilizados en revisar planos pero requiere mayor colaboración en la tarea de mover las estructuras a sus lugares correspondientes.

En **Confección de Materiales** y en **Doblado/Corte** se ve que la distribución en el UdT es muy similar a la Instalación, en Espacio 3 y P. Magnolio tienen la mayor parte en PM y como segundo UdT es OT y MM respectivamente.

[1] 'PM': Preparación de Materiales.
[2] 'RT': Rehaciendo Trabajo.
[3] 'MO': Materializando la Obra.
[4] 'MM': Movimientos de Materiales en el lugar de Trabajo.
[5] 'LP': Limpiando o Moviendo Escombros.
[6] 'OT': Otros (Charlas Inicio de Jornada (Seguridad/Planificación), Instrucciones del Jefe de Cuadrilla, Trabajos Prevención de Riesgo).
[7] 'NO': No visto en lugar de Trabajo.
[8] 'NT': En el Lugar de Trabajo, pero NO Trabajando.
[9] 'CA': Caminando en la Obra sin motivo aparente.

Para generar una mejor representación del uso de tiempo de cada obra, y las diferencias existentes entre las 3 partidas analizadas, se exponen a continuación 3 pares de diagramas de Pareto.

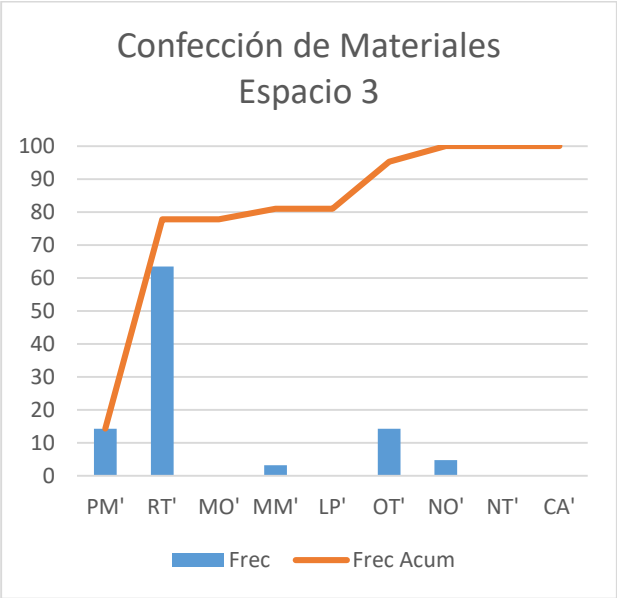


Figura 11 Confección de Materiales Espacio 3, Elab. Propia

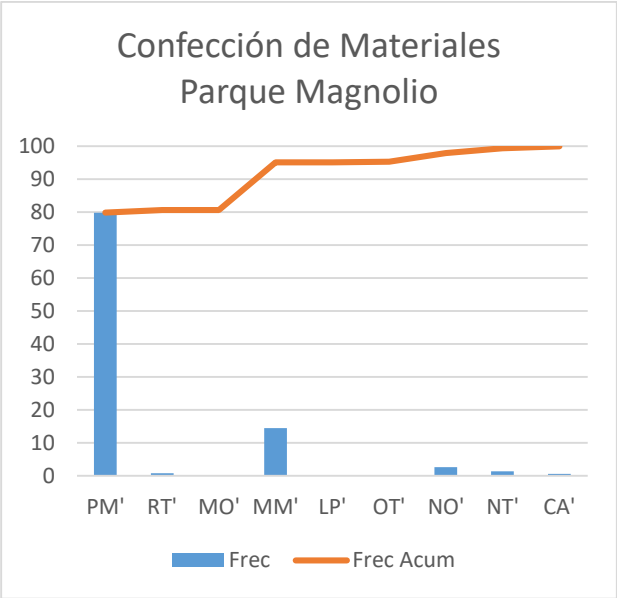


Figura 12 Confección de Materiales Parque Magnolio, Elab. Propia

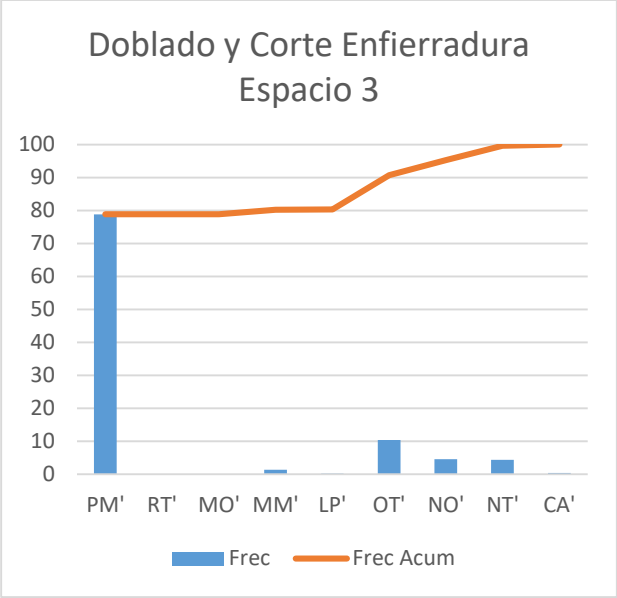


Figura 13 Doblado y Corte Enfierradura Espacio 3, Elab. Propia

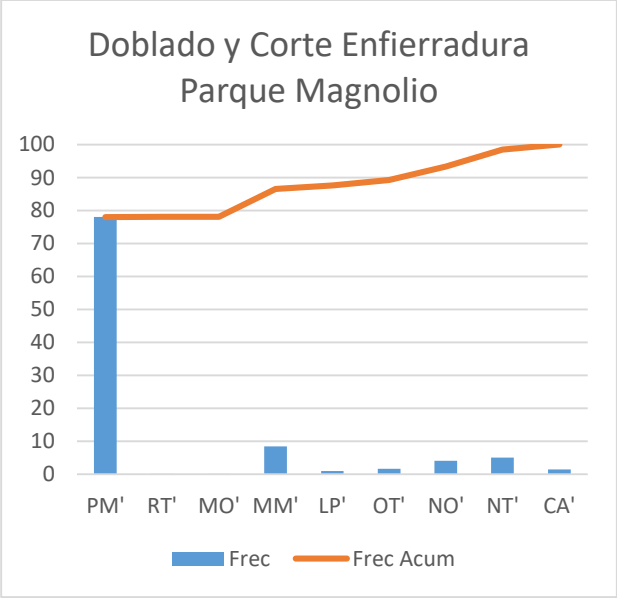


Figura 14 Doblado y Corte Enfierradura Parque Magnolio, Elab. Propia

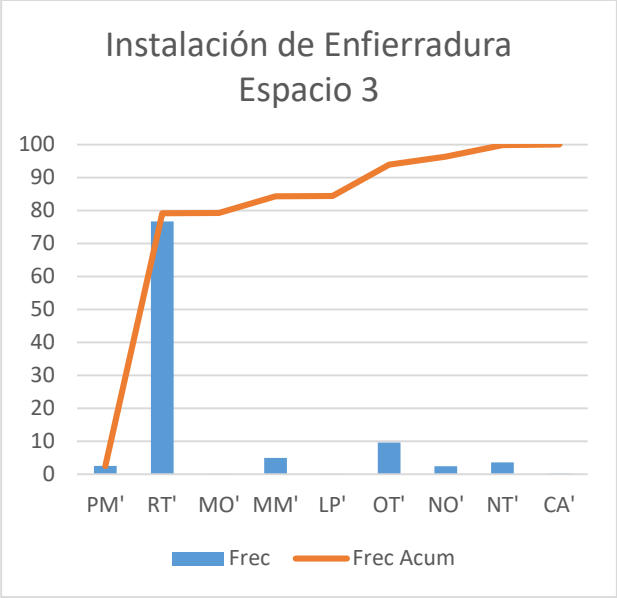


Figura 15 Instalación de Enfierradura Espacio 3, Elab. Propia

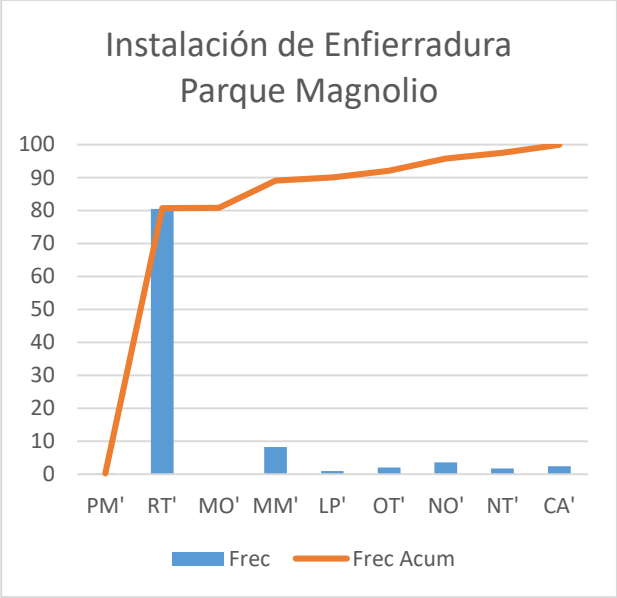


Figura 16 Instalacion de Enfierradura Parque Magnolio, Elab. Propia

Tanto en Instalación como en Doblado y Corte, ambas obras tienen diagramas similares, en que predominan MO y PM respectivamente, pero en la Confección de Materiales es donde tenemos una gran diferencia, ya que Espacio 3 tiene MO como su principal consumo de HH y Parque Magnolio es en PM, esto es producto de la modalidad de trabajo, como se ha explicado anteriormente, en que Parque Magnolio implemento el sistema de preparar gran parte de los elementos estructurales en el patio de enfierradura, en vez de realizarlo en el lugar de instalación.

4.3.3 Según Trabajador

A continuación se analizan los distintos UdT para las 2 obras y también se hace una comparación entre los trabajadores contratados por la empresa constructora versus un subcontrato que empezó a funcionar a las 3 semanas de haber iniciado las mediciones dentro de P. Magnolio.

	Espacio 3	P. Magnolio Constructora	P. Magnolio Sub Contrato
TP %	78.70	84.24	76.87
TC %	15.19	8.98	11.52
TNC %	6.10	6.78	11.61

Tabla 16 Uso de Tiempo según Obra y Tipo de Contrato, Elab. Propia

En la tabla anterior se puede ver que los trabajadores contratados por la Constructora en P. Magnolio poseen un alto valor promedio de TP (84%) y bajos porcentajes de TC y TNC (9% y7% respectivamente). En cambio, Espacio 3 y SC Magnolio tienen menor UdT en TP (79% y 77% respectivamente) en comparación a P. Magnolio Constructora, pero el porcentaje restante encontramos una diferencia entre Espacio 3 y P. Magnolio Sub Contrato, ya que en el primero es utilizado mayormente en TC (6%) y en P. Magnolio Sub Contrato en TNC (12%).

A continuación se presentan las distribuciones de UdT de los trabajadores con mayor y menor TP de las 3 obras.

	Mayor TP			Menor TP		
	TP %	TC %	TNC %	TP %	TC %	TNC %
Espacio 3	94.52	2.74	2.74	68.97	25.00	6.03
P. Magnolio Constructora	90.38	1.92	7.69	80.77	11.54	7.69
P. Magnolio Sub Contrato	83.68	9.21	7.11	64.53	8.12	27.35

Tabla 17 Mayor y Menor UdT en Trabajo Productivo de cada Obra, Elab. Propia

Espacio 3 es la obra que posee al trabajador con Mayor UdT en TP, seguido por C Magnolio y finalmente el SC de Magnolio. En cambio, con respecto a los trabajadores con Menor TP, en C Magnolio el peor trabajador está muy cerca del mejor de SC Magnolio y, adicionalmente, su UdT secundario es TC, muy diferente a SC Magnolio, en que el peor trabajador posee apenas un 65% de su UdT en TP, el secundario es de 27% en TNC. Este último dato se investigó y se descubrió que dicha persona es el hijo del jefe del Sub Contrato, motivo por el que siempre se encontraba en la Banca de Doblado/Corte sin trabajar.

	Mayor TNC			Menor TNC		
	TP %	TC %	TNC %	TP %	TC %	TNC %
Espacio 3	74.87	9.23	15.90	76.67	23.33	0.00
P. Magnolio Constructora	84.42	6.49	9.09	87.14	8.57	4.29
P. Magnolio Sub Contrato	64.53	8.12	27.35	83.68	9.21	7.11

Tabla 18 Mayor y Menor UdT en Trabajo No Contributivo de cada Obra, Elab. Propia

Analizando a los trabajadores del punto de vista del TNC se puede ver que en Espacio 3 las personas con mayor y menor TNC tienen un TP muy similar (75% vs 77% respectivamente) pero lo que los diferencia es la gran cantidad de tiempo que destina el Menor TNC a TC.

En P. Magnolio, para la Constructora se tuvieron distribuciones que no tienen tantas diferencias como el caso de la obra anterior, pero en P. Magnolio Sub Contrato se encuentra el dato del hijo del jefe por el lado del Mayor TNC y como menor TNC tenemos a un trabajador con 7% en dicho UdT, lo que es muy alto en comparación al resto de los trabajadores.

4.3.4 Según Fechas

A continuación se presenta la variación de los UdT durante la semana, comparando el inicio y fin de semana (Lunes, Viernes, vísperas de Feriados y vuelta de feriados) con el resto de los días de la semana.

	Espacio 3		**Parque Magnolio**	
	Lunes, Viernes, Vísperas y Retornos	**Resto Semana**	**Lunes, Viernes, Vísperas y Retornos**	**Resto Semana**
TP	75.41	79.38	79.90	77.93
TC	10.25	12.16	13.62	14.97
TNC	14.34	8.47	6.48	7.10

Tabla 19 Variación Uso de Tiempo según Día Laboral, Elab. Propia

En la tabla previa se ve que en Espacio 3 el comportamiento de los trabajadores es como se espera y señala en la literatura, es decir, que en los días de comienzo y fin de semana o en vísperas o retornos de feriados, se espera una productividad menor, con mayor UdT en TNC, con un 14% versus 8.5% presentado el resto la semana. A diferencia de Espacio 3, el UdT en Parque Magnolio se encuentra repartido de forma similar, en que el TNC en el Resto de la Semana ronda el 7% y para los otros días es solo de 6.5%. lo que puede significar una mejor supervisión o incluso que el personal tiene menos cansancio físico o psicológico a lo largo de la semana.

Como se señaló anteriormente, también es posible obtener el análisis del UdT en los distintos meses, lo que permitiría hacer un análisis según el avance de la obra o incluso según el clima o acontecimientos que influyan en el trabajo como accidentes o demoras de suministros. A continuación esta la tabla que contiene la información correspondiente a los meses que duró el proyecto.

	Espacio 3			**Parque Magnolio**		
	Mayo	**Junio**	**Julio**	**Mayo**	**Junio**	**Julio**
TP	83.93	78.43	74.58	89.88	76.44	75.06
TC	9.43	10.51	12.49	5.32	12.41	21.35
TNC	6.64	11.06	12.93	4.80	11.15	3.59

Tabla 20 Variación Uso de Tiempo según Mes, Elab. Propia

Los resultados presentes en la tabla muestran que con el avance de la obra el TP fue decreciendo en ambas obras, con un respectivo aumento del TC, esto se debe principalmente al aumento de las labores de 'MM' en Espacio 3, lo que se podría justificar debido al aumento en la altura en que se estaban realizando los trabajos y al tiempo requerido en la recuperación de materiales utilizado en niveles anteriores. Es necesario señalar que también aumentó el TNC de los trabajadores, esto también es

producto del aumento de la cantidad de pisos en los que están trabajando las personas, ya que dificulta aún más la supervisión y facilita la distracción del trabajador.

En Parque Magnolio, el aumento del UdT en TC se debió principalmente al incremento en 'OT', dicho comportamiento se podría relacionar a la cantidad de obras que se realizaban simultáneamente y la diferencia entre ellas. Cabe destacar que Parque Magnolio es un condominio de lofts que presentan todos distintos niveles, subterráneos y tamaños, por lo que la complejidad del proyecto y la poca repetitividad de los elementos generaron un mayor UdT por parte de los trabajadores en 'OT'.

Se entrega a continuación el detalle del UdT en función de los meses, para tener asi una mejor percepción de cuales labores fueron cambiando a lo largo del proyecto.

	Espacio 3			**Parque Magnolio**		
	Mayo	**Junio**	**Julio**	**Mayo**	**Junio**	**Julio**
'PM'	36.52	35.69	20.78	25.49	26.46	12.07
'RT'	0.40	0.00	0.00	0.22	0.00	0.13
'MO'	47.01	42.74	53.80	64.17	49.98	62.87
'MM'	6.11	8.81	9.41	3.90	5.38	3.42
'LP'	0.93	0.90	0.82	0.15	0.08	0.13
'OT'	2.39	0.80	2.26	1.27	6.94	17.81
'NO'	4.12	4.15	9.76	1.87	4.84	1.56
'NT'	0.93	4.25	1.69	2.17	6.18	2.03
'CA'	1.59	2.65	1.48	0.75	0.13	0.00

Tabla 21 Detalle de Variación Uso de Tiempo según Mes, Elab. Propia

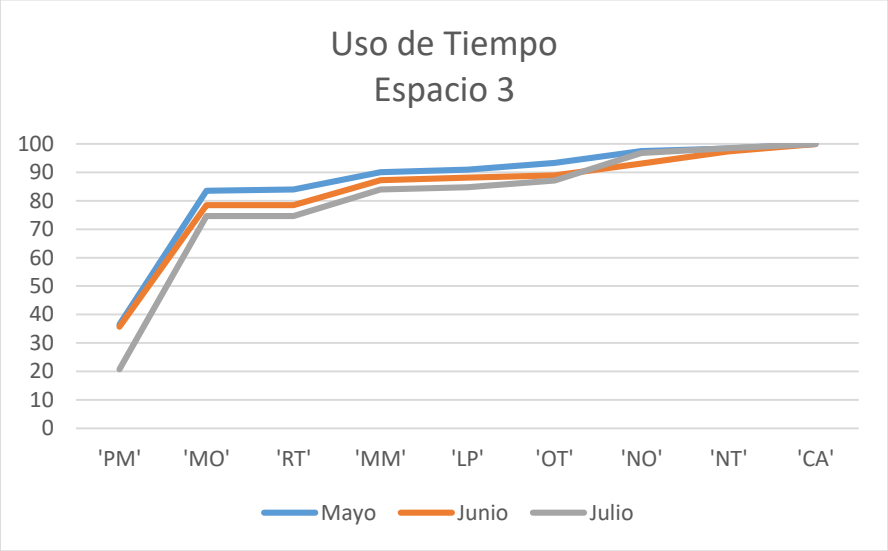


Figura 17 Uso de Tiempo Espacio 3, Elab. Propia

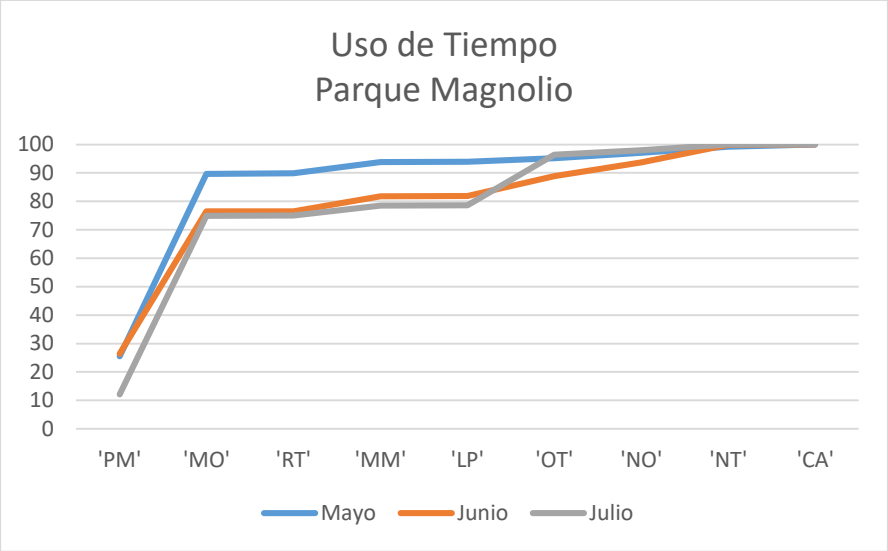


Figura 18 Uso de Tiempo Parque Magnolio, Elab. Propia

Con la ayuda del diagrama de Pareto de ambas obras se puede apreciar que las curvas de distribución en el Uso de Tiempo son muy similares durante el transcurso de los meses, aunque en ambas se aprecia un leve declive de los Trabajos Productivos y aumento de los No Contributivos.

4.4 Productividad Instalación de Armadura

La productividad de la instalación se midió según el trabajo efectuado en cada elemento estructural, cubicando el peso de cada elemento y utilizando el número de mediciones realizadas, convertidas a HH, para posteriormente ver cuantos kilos se están instalando por cada HH aplicada o multiplicando este valor por 8 para calcular la cantidad que se debieran instalar en un día laboral o Día Hombre de trabajo (DH).

La cantidad de mediciones de rendimiento que se obtuvieron en cada obra son las siguientes:

	Espacio 3	P. Magnolio
Elementos Medidos:	525	367

Dichas mediciones pueden presentar distribuciones que contienen datos extremos (outliers), los que representan posibles errores en el trabajo efectuado por el medidor. A continuación se presentan los procedimientos adoptados para identificar y eliminar dichos datos.

4.4.1 Eliminación de Datos Extremos (Outliers)

Usualmente, cuando se obtiene una muestra de N mediciones de alguna variable, puede que haya uno o más datos que parecen diferir notoriamente del resto de las mediciones.

Hawkins, en 1980, señaló que *"un dato extremo es una observación que se desvía tanto de las demás que levanta sospechas de que pudo haber sido generado por un proceso distinto".*

En caso de que exista una explicación al procedimiento que llevó a obtener dicho valor "erróneo", se pueden identificar todos los datos que son consecuencia de dicho procedimientos y simplemente eliminarlos. Sin embargo, existe mayor dificultad cuando no existe una explicación de porqué se

obtuvieron dichos datos “erróneos” o distantes. En estas situaciones, es necesario el uso de métodos que eliminen dichos valores extremos a partir de cierto criterio estadístico, que en base a los parámetros representativos de la muestra, pueden identificar cual dato es un outlier y cual no.

A continuación se presentan los gráficos en 2 dimensiones de los datos obtenidos en cada obra, comparando la productividad de cada medición vs el peso del elemento relacionado a dicha medición:

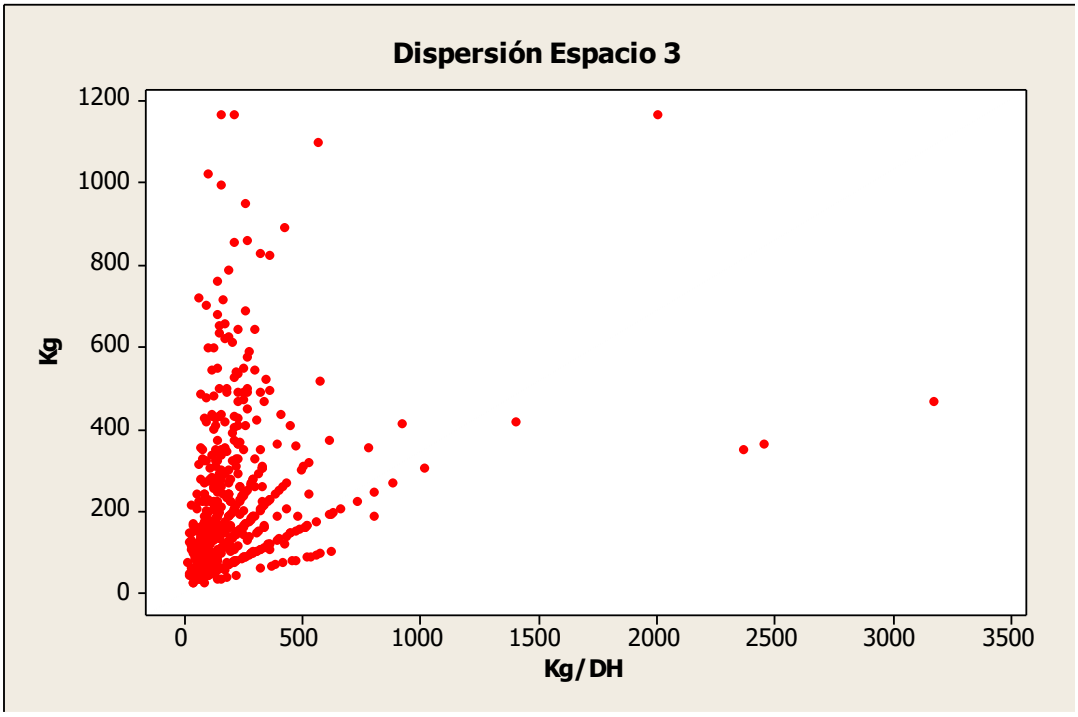


Figura 19 Gráfico de Dispersión de Productividad en Instalación de Espacio 3, Elab. Propia

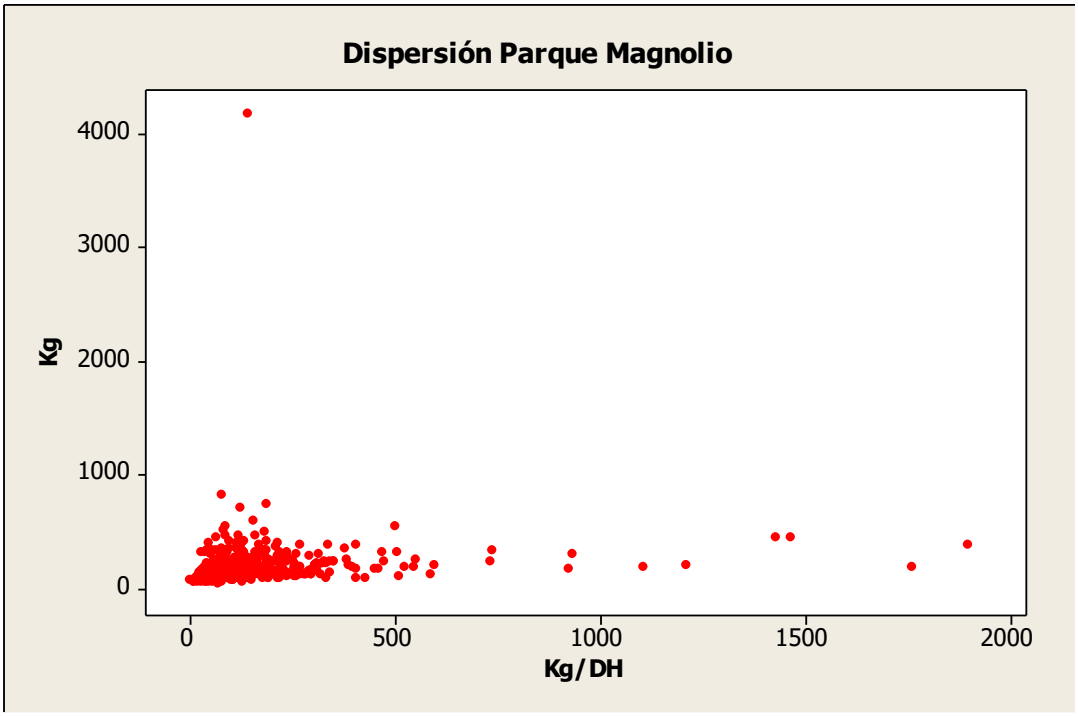


Figura 20 Gráfico de Dispersión de Productividad en Instalación de Parque Magnolio, Elab. Propia

Para dar una mejor visualización e idea de los valores extremos presentes en cada obra, se presentan las distribuciones en una gráfica de Boxplot, siendo representados con un asterico (⁎) los outliers que detecta el método tradicional de Boxplot.

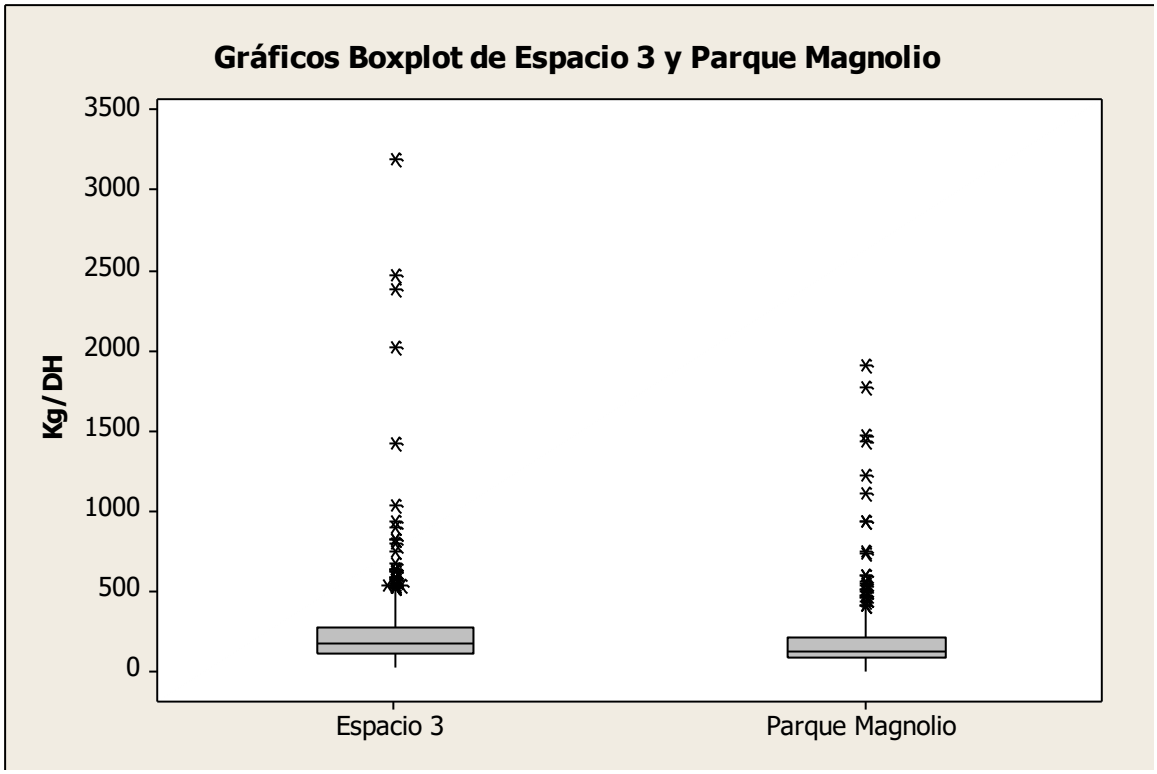


Figura 21 Gráfico Boxplot de Obras Espacio 3 y Parque Magnolio, Elab. Propia

Es posible identificar, a priori, la presencia de outliers en ambas muestras. Adicionalmente, resalta la característica sesgada de la distribución de las dos obras. Analizando el coeficiente de sesgo se obtienen los siguientes resultados:

	Espacio 3	P. Magnolio
Sesgo:	6.4275	4.5082

Ambos valores de sesgo son positivos, los que indican que la mediana de cada distribución es mayor a la media, o sea, está ubicada hacia el lado derecha de la media. Esta característica es más fácil de apreciar en los histogramas de cada distribución:

- Histograma Inicial Espacio 3:

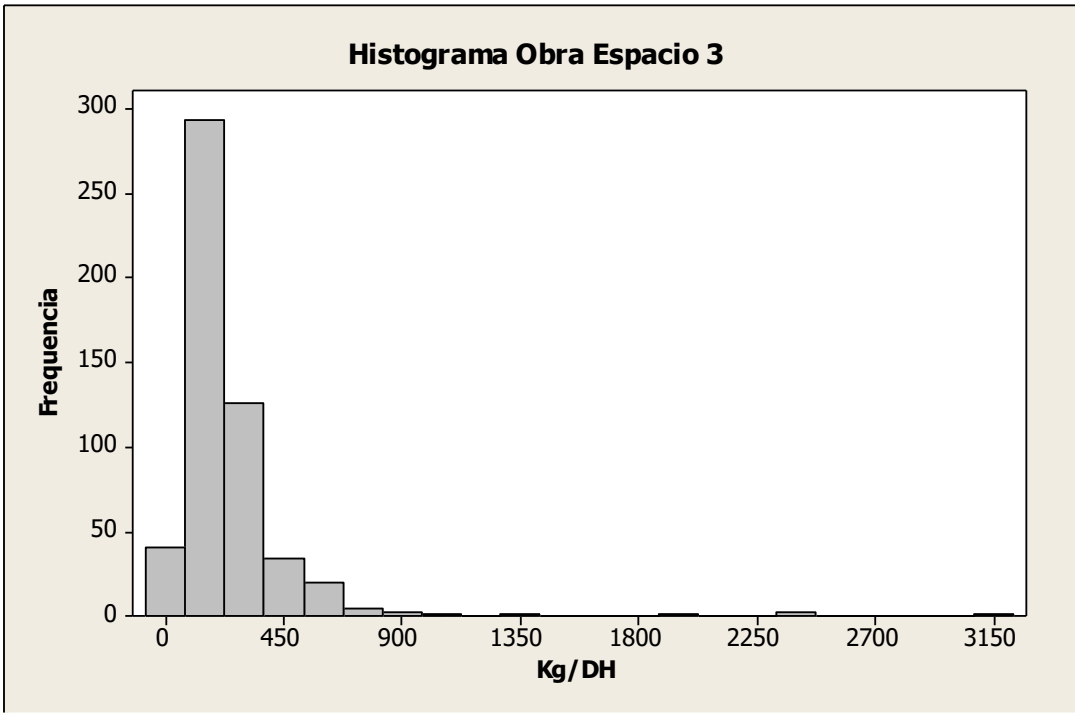


Figura 22 Histograma de Productividad en Instalación de Espacio 3, Elab. Propia

- Histograma Inicial Parque Magnolio:

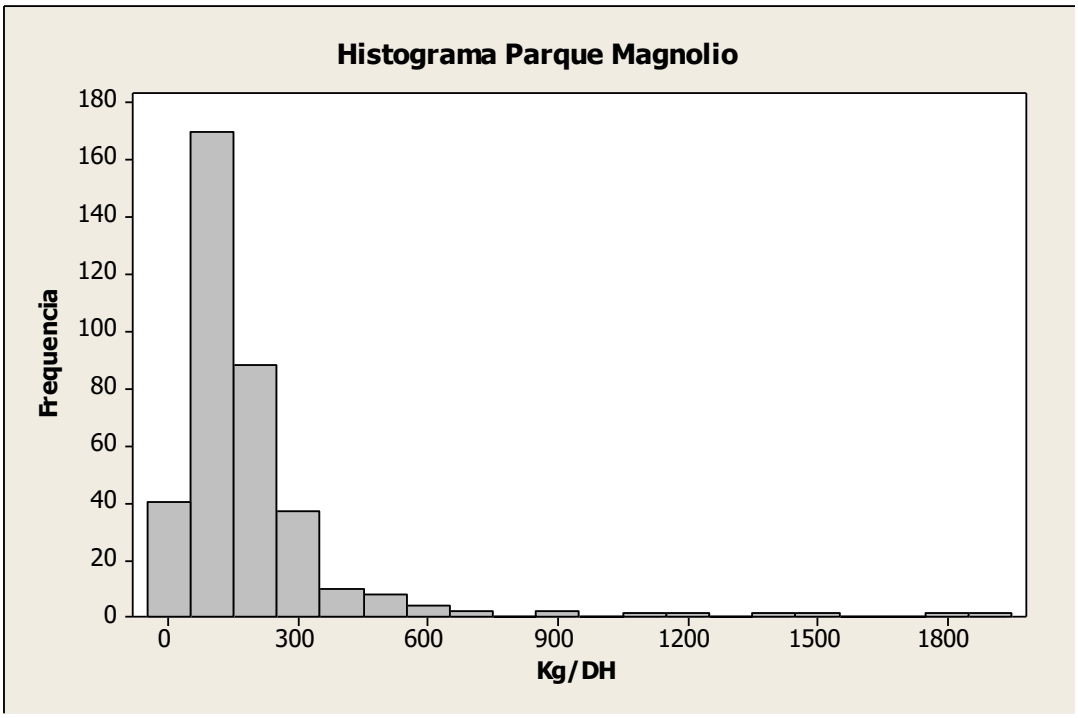


Figura 23 Histograma de Productividad en Instalación de Parque Magnolio, Elab. Propia

A partir de los valores del sesgo de cada distribución se puede elegir qué método utilizar para eliminar los outliers obtenidos en cada obra.

Los métodos existentes se pueden clasificar en 2 categorías, dependiendo de si la muestra posee una distribución simétrica (sesgo ≈ 0) o asimétrica (sesgo ≠ 0). A continuación se nombran los métodos más utilizados de cada categoría.

1. Distribución Simétrica:
    a) Método de la Desviación Estándar.
    b) Z-Score.
    c) Chauvenet.
2. Distribución Asimétrica:
    a) Método Tukey (Boxplot).
    b) Boxplot Ajustado.
    c) Regla de la Mediana.
    d) Método de la Desviación Absoluta de la Mediana (MAD).

Se presenta una breve descripción de los 4 métodos de distribución asimétrica propuestos y los resultados obtenidos. Los valores aceptados y eliminados por cada método, se encuentran en el Anexo 4: *"Outliers, Norm y KW"*.

4.4.1.1 Método Tukey (Boxplot).

El método creado por John W. Tukey en 1977 es una herramienta muy fácil de utilizar y es capaz de graficar información básica de una distribución, como es la mediana, cuartiles 1 y 3, y límite inferior y superior del conjunto de datos. A su vez, es poco sensible a valores extremos y puede ser utilizado en distribuciones simétricas como asimétricas, ya que utiliza los cuartiles como parámetros para eliminar outliers.

El procedimiento para aplicar el Método Tukey es el siguiente:

1. Cálculo de Rango Inter Cuartil (RIQ)
$$RIQ = Q_3 - Q_1$$
2. Cálculo de Limite Interno:
$$Limite\ Interno = [Q_1 - 1.5 * RIQ, Q_3 + 1.5 * RIQ]$$
3. Cálculo de Limite Externo:
$$Limite\ Externo = [Q_1 - 3 * RIQ, Q_3 + 3 * RIQ]$$
4. Un valor ubicado entre el Limite Interno y el Limite Externo, es catalogado como un posible outlier. En cambio, un valor que esta fuera de los Limites Externos, es considerado como un probable outlier.

Tukey realiza esta diferencia entre Limite Interno y Externo debido a que existen valores que están ubicados en puntos extremos en comparación al resto de los datos, pero que no son equívocos. Es por esto que todos los datos catalogados como "posible outlier" hay que analizarlos y ver si deben ser considerados en el resto del análisis o no.

Los resultados del procedimiento descrito por Tukey se presentan a continuacion:

	N	1Q	3Q	IQR	Inferior Externo	Superior Externo	Inferior Interno	Superior Interno
Espacio 3	525	112.85	275.47	162.62	-375.01	763.32	-131.08	519.40
P. Magnolio	367	84.27	212.76	128.49	-301.19	598.23	-108.46	405.49

Tabla 22 Calculo de Limites de Outliers por Metodo Tukey, Elab. Propia

A partir de los limites interiores y superiores, tanto interno como externo, los probables y posibles Outliers de cada muestra serían:

	Posible Outlier	Probable Outlier	Normales	% Outliers
Espacio 3	11	1	513	2.29 %
P. Magnolio	11	1	355	3.27 %

Tabla 23 Cantidad de Outliers por Metodo Tukey, Elab. Propia

Analizando dichos "probables outliers" en ambas muestras, se decide considerar solamente como outlier el último dato de cada muestra, ya que ambos generan un salto en la distribución. El resto de los datos son considerados como normales o "sanos", ya que ninguno presenta un quiebre en la continuidad de la distribución o un comportamiento anómalo. Se presentan a continuación los histogramas con los datos incluidos dentro de los Limites Externos, ahí es posible apreciar la existencia de un valor extremo al final de cada distribución (probable outlier), el cual será eliminado en este método.

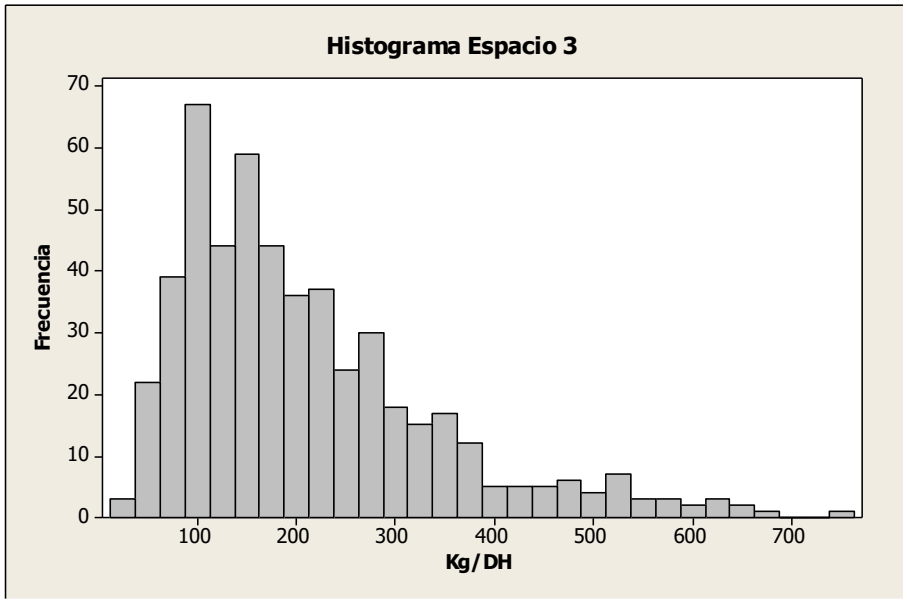


Figura 24 Histograma de Productividad en Instalación de Espacio 3 Filtrado Mediante Método Tukey, Elab. Propia

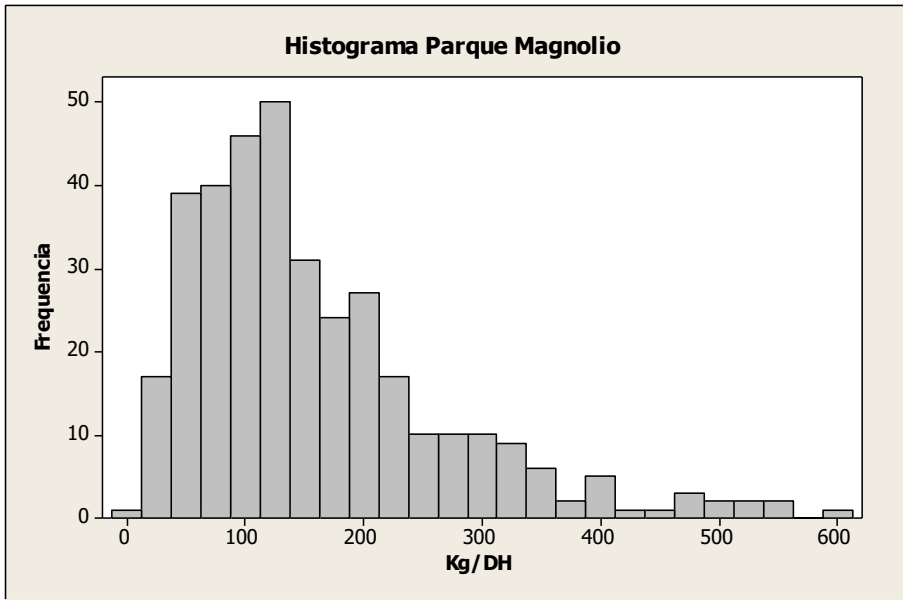


Figura 25 Histograma de Productividad en Instalación de Parque Magnolio Filtrado Mediante Método Tukey, Elab. Propia

4.4.1.2 Boxplot Ajustado.

El Método ajustado de Boxplot, introducido por Vanderviere y Huber en 2004, es una mejora al método propuesto por Tukey ya que los límites de datos extremos se adaptan mucho mejor a distribuciones muy sesgadas. Esto lo consiguieron incluyendo el parámetro "Medcouple", una medida robusta de asimetría para muestras univariadas, con la que se modifican los límites del boxplot.

Los pasos para el Boxplot Ajustado son similares al Boxplot original, estos se detallan a continuación:

1. Cálculo de Rango Inter Cuartil (RIQ)

$$RIQ = Q_3 - Q_1$$

2. Cálculo de parámetro Medcouple (MC),

$$MC(x_1, \dots, x_n) = med\frac{(x_j - med_k) - (med_k - x_i)}{x_j - x_i}$$

   Donde:
   - $X_n = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ es una muestra dada en que $x_1 \leq x_2 \leq \cdots \leq x_n$
   - med_k: Mediana de X_n
   - $x_i \leq med_k \leq x_j$ con $x_i \neq x_j$

3. Cálculo del límite inferior y superior

$$Limites = [Q_1 - 1.5 * e^{-3.5*MC} * RIQ, Q_3 + 1.5 * e^{4*MC} * RIQ] \qquad \text{Si } MC \geq 0.$$
$$Limites = [Q_1 - 1.5 * e^{-4*MC} * RIQ, Q_3 + 1.5 * e^{3.5*MC} * RIQ] \qquad \text{Si } MC \leq 0.$$

Cabe destacar que si $MC = 0$, entonces la fórmula de cálculo de límites se convierte en la misma utilizada por Tukey para los limites internos.

Aplicando el método para detectar posibles valores extremos en las muestras de ambas obras, se obtienen los siguientes resultados:

	N	MC	1Q	3Q	IQR	Inferior	Superior
Espacio 3	525	0.33	112.85	275.47	162.62	36.72	1198.51
P. Magnolio	367	0.33	84.27	212.76	128.49	24.12	942.07

Tabla 24 Calculo de Limites de Outliers por Metodo BoxPlot Ajustado, Elab. Propia

Segun los limites inferiores y superiores de cada muestra, el procedimiento de BoxPlot Ajustado considera los siguientes valores como Outliers

	Posible	Normales	% Outliers
Espacio 3	8	517	1.52
P. Magnolio	12	355	3.27

Tabla 25 Cantidad de Outliers por Metodo BoxPlot Ajustado, Elab. Propia

Dichos resultados se presentan en los siguientes histogramas:

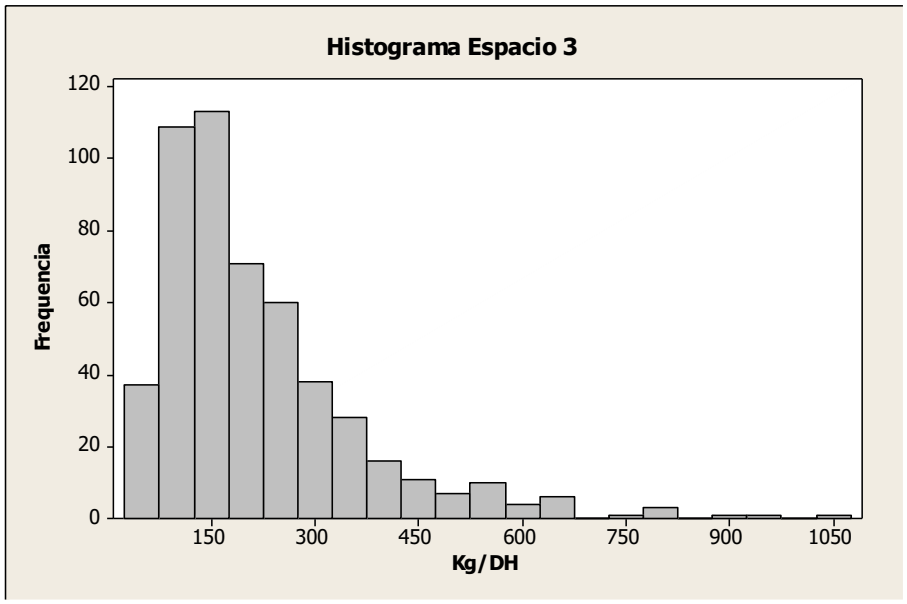


Figura 26 Histograma de Productividad en Instalación de Espacio 3 Filtrado Mediante Método BoxPlot Ajustado, Elab. Propia

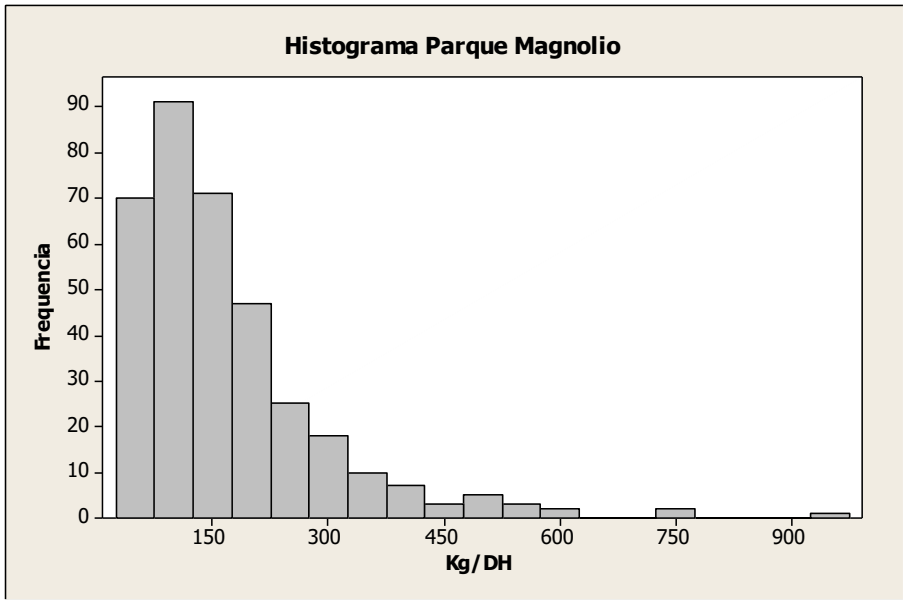


Figura 27 Histograma de Productividad en Instalación de Parque Magnolio Filtrado Mediante Método BoxPlot Ajustado, Elab. Propia

4.4.1.3 Regla de la Mediana.

La regla de análisis de datos extremos en función de la mediana fue introducida por Carling en 1998 en que reemplaza los Cuartiles Q_1 y Q_3 de la fórmula de Tukey por la Mediana de la distribución y una distinta escala del RIQ.

Este método es más resistente a distribuciones muy sesgadas, ya que establece un límite inferior y superior equidistantes a Q_2, tratando de establecer cierto grado de simetría en la distribución de los datos.

Los pasos necesarios para el cálculo de los límites son:

1. $RIQ = Q_3 - Q_1$
2. $Limites = Q_2 \pm 2.3 * RIQ$

Los límites sugeridos por la regla de la Mediana son:

	N	Mediana	1Q	3Q	2.3xIQR	Inferior	Superior
Espacio 3	525	175.40	112.85	275.47	162.62	12.78	338.02
P. Magnolio	367	131.10	84.27	212.76	128.49	2.61	259.59

Tabla 26 Calculo de Limites de Outliers por Metodo de Regla de la Mediana, Elab. Propia

Las distribuciones de ambas obras presentan la siguiente cantidad de Outliers seg{un la Regla de la Mediana, y resultan con los histogramas presentados a posterior:

	Posible	Normales	% Outliers
Espacio 3	86	439	16.38
P. Magnolio	67	300	18.26

Tabla 27 Cantidad de Outliers por Metodo de Regla de la Mediana, Elab. Propia

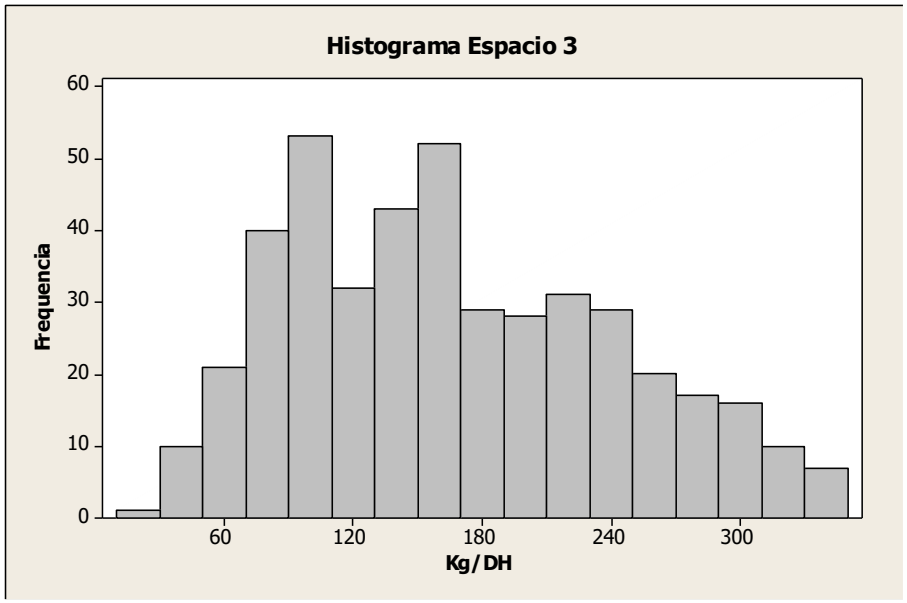


Figura 28 Histograma de Productividad en Instalación de Espacio 3 Filtrado Mediante Método de la Mediana, Elab. Propia

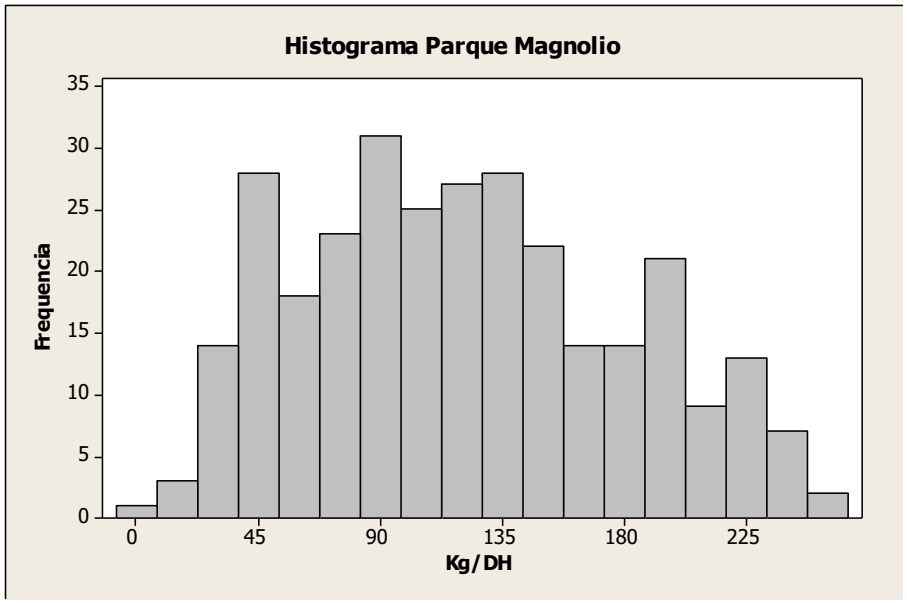


Figura 29 Histograma de Productividad en Instalación de Parque Magnolio Filtrado Mediante Método de la Mediana, Elab. Propia

4.4.1.4 Método de Desviación Absoluta de la Mediana (MAD).

El método MAD utiliza el valor de la Mediana y de la Desviación Absoluta de la Mediana, este es un parámetro robusto que no se ve grandemente afectado por la presencia de valores extremos. Este método puede ser más efectivo que el uso del promedio y la desviación estándar (método utilizado para distribuciones simétricas) pero puede llegar a ser demasiado agresivo en clasificar los valores como outliers cuando realmente no lo son. Adicionalmente, si la distribución tiene curtosis mucho mayor a cero

(valores muy concentrados alrededor de la media) el valor de la MAD tiende a cero, lo que deja a este método sin efecto.

Los límites son calculados con los siguientes pasos:

1. Cálculo de Mediana de la distribución
2. Cálculo de MAD según:
$$MAD = median(|x_i - median(x)|_{i=1,2,\dots,n})$$
3. $Limites = Mediana \pm 2 * MAD$

El factor amplificador de la MAD, presente en la 3era formula, puede variar entre 1.4826 (para distribuciones normales) y 4.5, para distribuciones muy asimétricas. Para el caso de este ejercicio, se decidió utilizar 2, ya que es el factor que permite obtener un límite inferior cercano a cero en ambas obras, evitando así dejar limites negativos que no tendrían ningún uso debido a que todos los valores son positivos.

Los resultados del metodo se encuentran en las siguientes tablas:

	N	Mediana	MAD	2xMAD	Inferior	Superior
Espacio 3	525	177.97	72.21	144.43	33.54	322.40
P. Magnolio	367	133.66	59.73	119.46	14.20	253.12

Tabla 28 Calculo de Limites de Outliers por Metodo MAD, Elab. Propia

	Posible	Normales	% Outliers
Espacio 3	96	429	18.29
P. Magnolio	70	297	19.07

Tabla 29 Cantidad de Outliers por Metodo MAD, Elab. Propia

Una vez eliminados los datos extremos que identificó este método, los histogramas de ambas obras quedan con los siguientes valores:

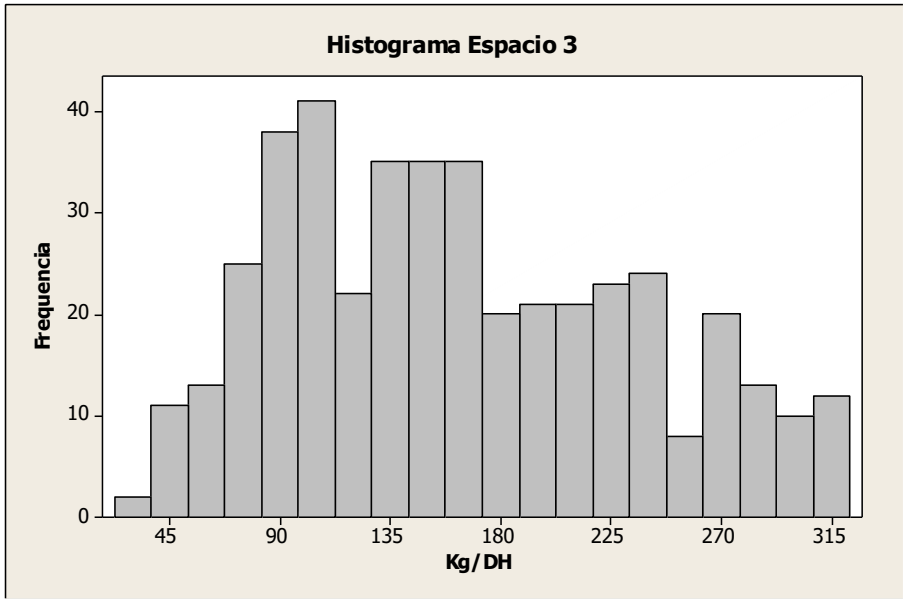


Figura 30 Histograma de Productividad en Instalación de Espacio 3 Filtrado Mediante Método MAD, Elab. Propia

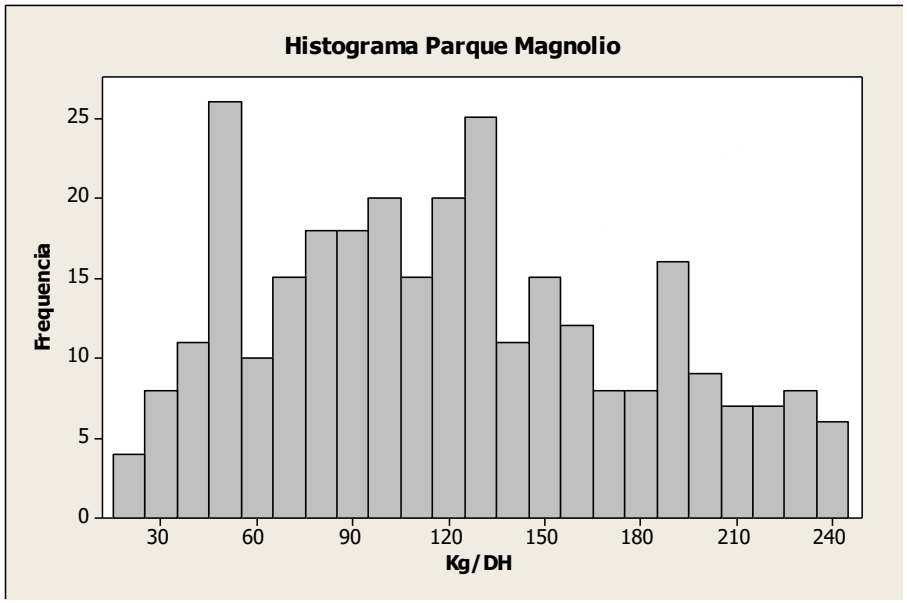


Figura 31 Histograma de Productividad en Instalación de Parque Magnolio Filtrado Mediante Método MAD, Elab. Propia

4.4.1.5 Resultados identificación de Outliers

Los resultados entregados por los distintos métodos son resumidos en la tabla que se encuentra a continuación. En dicha tabla se muestra el límite inferior y superior del intervalo de datos normales, adicionalmente se entrega el porcentaje de datos que cada método consideró como Outlier. El detalle de cuales datos son considerados Outliers o normales, se encuentra en el Anexo 4: *"Outliers, Norm y KW"*.

		Regla Mediana		***Método MAD***		**Método Tukey (BoxPlot)**		***BoxPlot Ajustado***	
		Inferior	*Superior*	*Inferior*	*Superior*	**Inferior**	**Superior**	*Inferior*	*Superior*
Espacio 3	**Limites**	*12.78*	*338.02*	*33.54*	*322.40*	-375.01	763.32	*36.72*	*1198.51*
	% Outliers	*16.38%*		*18.29%*		2.29%		*1.52%*	
Parque Magnolio	**Limites**	*2.61*	*259.59*	*14.20*	*253.12*	-301.19	598.23	*24.12*	*942.07*
	% Outliers	*18.26%*		*19.07%*		3.27%		*3.27%*	

Tabla 30 Resumen de Resultado de Identificación de Outliers, Elab. Propia

Según los resultados obtenidos, se considera el uso de Tukey como el método más acorde para la eliminación de datos extremo, ya que los métodos "Mediana" y "MAD" son muy agresivos al eliminar cada uno cerca del 18% de los datos, y "Boxplot Ajustado" no considera algunos datos como outliers, siendo que todavía están muy lejanos a la mayor concentración de datos.

Los límites inferiores dados por el método Tukey para ambas obras son obtenidos a partir del método ya señalado. Dicho límite está muy lejos de los valores inferiores de ambas distribuciones, que son de valores mayores a cero, generando así que solo se eliminen valores pertenecientes al extremo derecho, o de mayor magnitud.

Para tener una mejor noción de cómo afecta cada método de selección de datos en los resultados del ejercicio, se presenta una tabla con los valores iniciales de Mediana y Promedio de cada obra y el consiguiente resultado posterior a la selección de cada método.

		Valores Iniciales	Regla Mediana	Metodo MAD	Metodo Tukey (BoxPlot)	Adjusted BoxPlot
Espacio 3	**Mediana**	175,40	156,71	155,58	172,14	174,96
	Promedio	236,78	167,00	163,84	209,14	218,02
Parque Magnolio	**Mediana**	131,10	117,24	116,49	129,29	130,91
	Promedio	188,57	120,60	120,06	158,22	166,93

Tabla 31 Variacion de Mediana y Promedio de las muestras segun cada Metodo de Identificacion de Outliers, Elab. Propia

Como ya se comentó, los métodos de la Mediana y MAD son muy agresivos para el levantamiento de información, donde cambian significativamente la mediana y el promedio de ambas muestras, en cambio Tukey consigue mantener relativamente constante la mediana y solo variar el promedio de forma controlada.

Se presentan a continuación los histogramas de ambas obras con todos los datos de las mediciones y el que se obtuvo al aplicar el método de eliminación de datos extremos "Tukey".

- Histograma Espacio 3 reducido según Método Tukey:

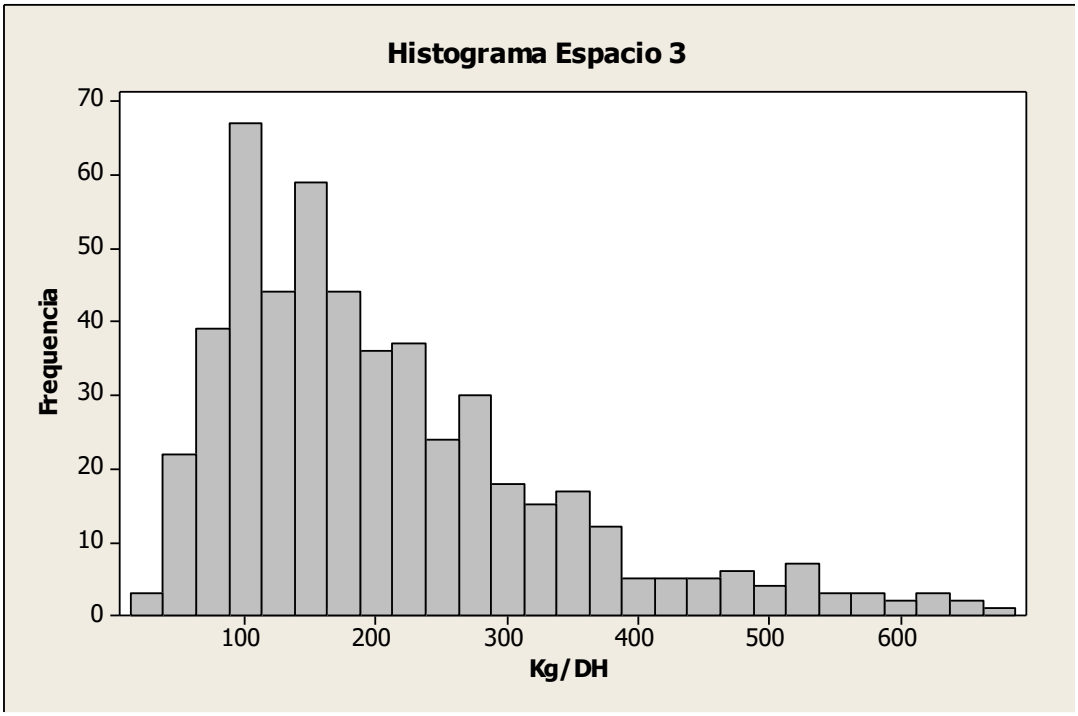


Figura 32 Histograma Final de Productividad en Instalación de Espacio 3 Filtrado Mediante Método Tukey, Elab. Propia

- Histograma Parque Magnolio reducido según Método Tukey:

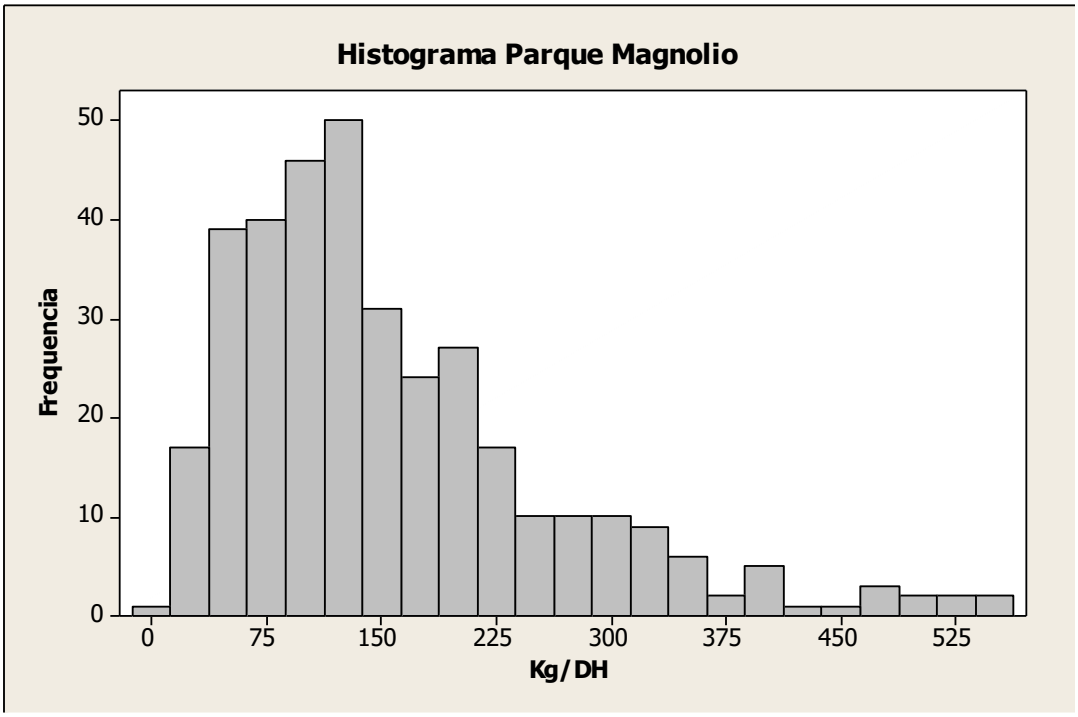


Figura 33 Histograma Final de Productividad en Instalación de Parque Magnolio Filtrado Mediante Método Tukey, Elab. Propia

Los valores finales del filtrado de Outliers, que se utilizarán para los futuros análisis, son presentados a continuación mediante grafico BoxPlot:

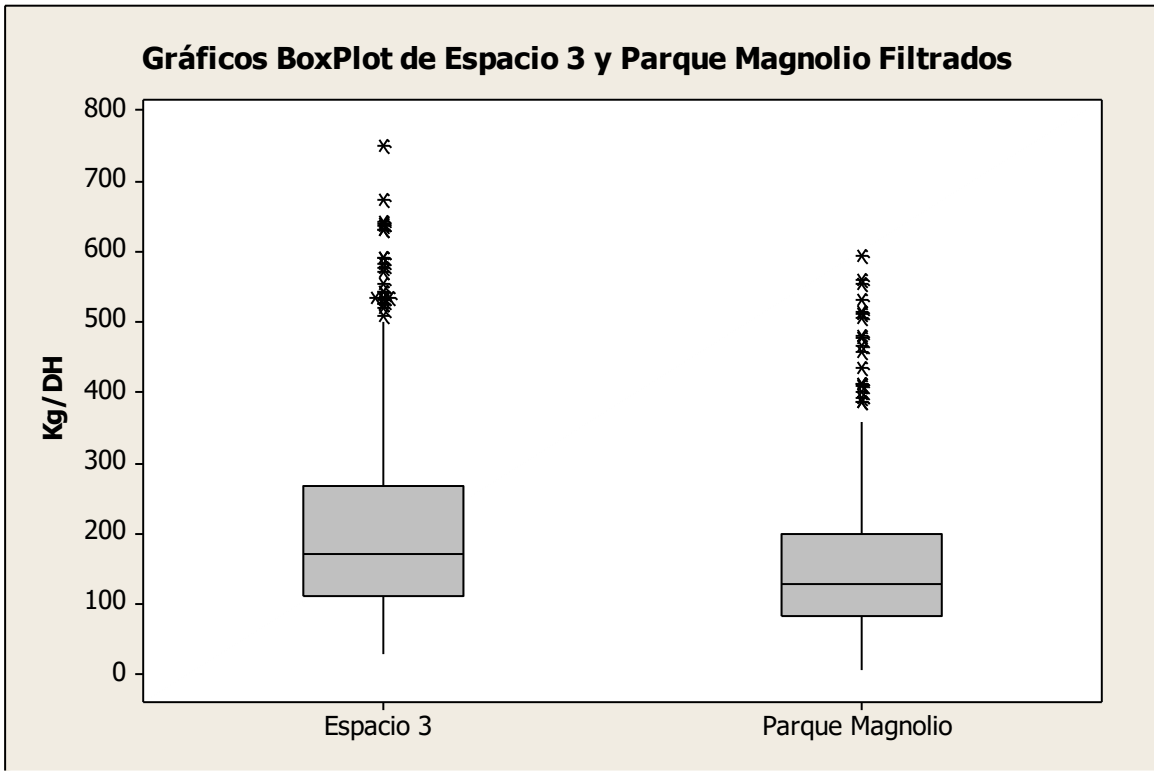


Figura 34 Gráfico BoxPlot de Productividad en Instalación en Espacio 3 y Parque Magnolio Filtrado Mediante Método Tukey, Elab. Propia

Es posible ver que todavía existen valores extremos (*) en las distribuciones, a pesar de haber realizado el filtrado, esto se debe a que en el método Tukey no los considera como outliers, ya que se encuentran en gran cantidad y relativamente cerca del resto de los datos. Estos datos pueden ser considerados como una "cola" de la distribución de mediciones.

4.4.2 Productividad Media Total

En las obras se midieron las siguientes cantidades de elementos:

	Espacio 3	P. Magnolio
Elementos Medidos:	525	367
Elementos Medidos No Outlier:	513	355
Toneladas Instaladas:	107.65	62.2
Promedio de Peso por Elemento:	0.210 Ton/Elem	0.175 Ton/Elem

Se calcula el promedio de peso por elemento como una referencia de cuan elevada era la cuantía de los elementos en cuestión. Esta relación es posible realizarla debido a que ambas obras son construcciones habitacionales, por lo que las dimensiones geométricas de los elementos son similares entre sí.

Las productividades obtenidas en el estudio están expresadas en la siguiente tabla en Kilogramos por Día Hombre (Kg/DH).

	Kg/DH	
	Espacio 3	P. Magnolio
Instalación y CM	228.38	166.97

Tabla 32 Productividad en Instalación de Espacio 3 y Parque Magnolio, Elab. Propia

Comparando la productividad de Instalación y Confección de la enfierradura en Espacio 3 y P. Magnolio, se puede apreciar que en Espacio 3 es un 38% mayor, esto se debe principalmente a que esta obra es mucho más "pesada", diseñada con enfierradura de mayor diámetro y en mayores cantidades, y tiene mayor número de elementos repetitivos, al ser edificación en altura.

4.4.3 Productividad Magnolio Casa v/s Subcontrato

Se presentan en la siguiente tabla las productividades que tuvieron los trabajadores contratados por la Constructora y Subcontrato.

	Kg/DH	
	Constructora	Subcontrato
Instalación y CM	124.72	170.43

Tabla 33 Productividad en Instalación de Parque Magnolio, Elab. Propia

Se aprecia a simple vista la superioridad en la productividad del Subcontrato en Instalación y Confección de los elementos, esto se debe a que el subcontrato basó su trabajo en la confección de materiales para la posterior instalación. Adicionalmente, existe el interés por parte del subcontrato en aumentar la productividad para disminuir costos, los que les afectan más directamente que a una constructora.

4.4.4 Productividad Mensual

Es posible realizar una comparación entre los trabajos efectuados en los distintos meses de la medición, a continuación se entregan los parámetros característicos de cada período.

	Toneladas Instaladas		Ton Mes/# Elementos		Kg/DH	
	Espacio 3	P. Magnolio	Espacio 3	P. Magnolio	Espacio 3	P. Magnolio
Mayo	22.92	8.92	0.353	0.139	217.77	163.98
Junio	36.60	28.16	0.226	0.225	210.76	162.76
Julio	48.14	25.12	0.168	0.151	246.86	172.76

Tabla 34 Productividad en Instalación según Mes, Elab. Propia

En ambas obras, la instalación de enfierradura por mes fue cada vez mayor, pero la productividad no se vio afectada por este cambio, lo que hace suponer que la contratación adicional de trabajadores no disminuyó la productividad individual de las cuadrillas de enfierradores. Dicho comportamiento es posible verlo en los gráficos a continuación:

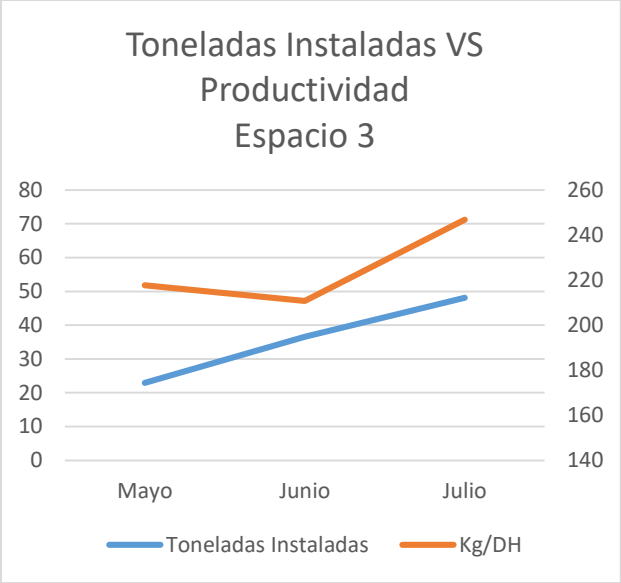


Tabla 35 Variacion Mensual de Intalacion de Enfierradura en Espacio 3, Elab. Propia

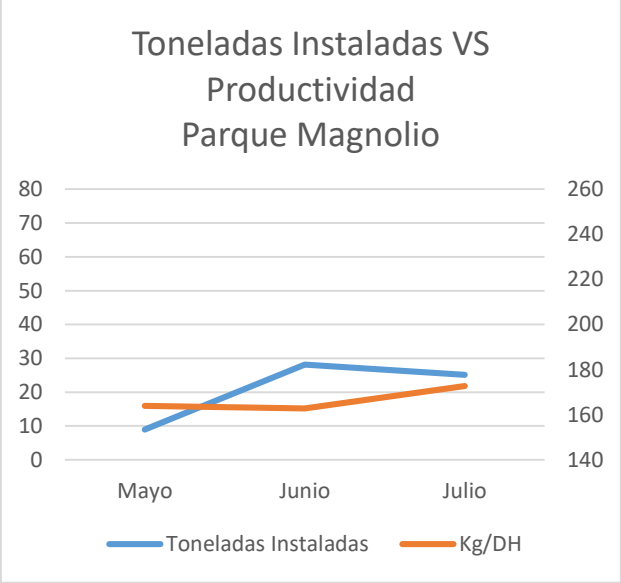


Tabla 36 Variacion Mensual de Intalacion de Enfierradura en Parque Magnolio, Elab. Propia

El parámetro "Ton Mes/# Elementos" mantuvo un comportamiento decreciente en Espacio 3, pero en Parque Magnolio tiene un carácter variante. Esto se debe principalmente a que Espacio 3 es una obra de edificación en altura, por lo que cada vez los refuerzos van siendo de menores cantidades y diámetros. En cambio, Parque Magnolio, por ser una obra de "lofts" de distintos pisos y dimensiones, no posee un comportamiento estable en las características de la armadura.

4.4.5 Productividad Óptima y Máxima

La productividad optima y máxima es posible obtenerla a partir de los resultados de productividad media en Instalación y Confección (**4.4.1**), con sus respectivos índices de Uso de Tiempo que incluyen las 3

categorías principales, los que fueron señalados en el inciso **4.4.2**. A partir de estos factores medidos es posible calcular la Productividad Optima y Máxima.

Los usos de tiempo agrupados en sus respectivas categorías según la *Tabla 15:*

	Espacio3	Magnolio
TP	78.52	80.74
TC	16.07	12.98
TNC	5.41	6.28

Tabla 37 Uso de Tiempo General, Extracto Tabla 15, Elab. Propia

Las productividades tomadas para el presente cálculo son las presentes en la *Tabla 23.*

Finalmente, realizando los cálculos según las formulas presentadas en **3.3.3**, las productividades resultantes son:

	Kg/DH		
	Real	**Óptima**	**Máxima**
Espacio 3	228.38	275.12 (+20.47%)	290.86 (+27.36%)
Parque Magnolio	166.97	193.82 (+16.08%)	206.81 (+23.85%)

Tabla 38 Proyecciones de la Productividad en Instalación de Enfierradura, Elab. Propia

Con este análisis es posible medir y cuantificar cuán grande puede ser la mejora en productividad gracias a un cambio y optimización en la administración y supervisión de las obras, en que si ambas constructoras mejoran sus procedimientos y eliminan los trabajos no contributivos (TNC), pueden aumentar en 20% y 16% para Espacio 3 y Parque Magnolio respectivamente.

En cuanto a la productividad máxima, es importante destacar la utilidad de este parámetro para las constructoras, ya que representan el desempeño máximo que tiene la media de los trabajadores y el significado que tiene mejorar los procesos contributivos.

4.5 Productividad en Preparación de Armadura

Para medir el desempeño laboral en la preparación de armadura se empleó el método explicado en el inciso **3.3.2**.

Este procedimiento es necesario para poder asignar un cierto consumo de tiempo humano a la preparación de cada pieza de armadura, es por esto que se utilizó el trabajo diario medido en el proyecto con el uso de tiempo de los trabajadores destinados a la preparación de fierros.

A continuación se detalla la muestra con que se calculó y calibró el proceso de doblado y corte de fierros

4.5.1 Calculo de Parámetros de Productividad

4.5.1.1 Espacio 3

- Días de Trabajo Medidos: 27 días.
- Tipos de fierros procesados: 8 (Ø8, Ø10, Ø12, Ø16, Ø18, Ø22, Ø25, Ø28).

A partir de dichas medidas, realizando el algoritmo ya señalado se obtiene:

- Total combinaciones: 888.030 vectores.

De dichas combinaciones son eliminadas todas las que tengan algún factor negativo, resultando así:

- Combinaciones positivas: 8.429 vectores.

El siguiente paso es estimar el consumo de horas hombre con los vectores restantes y comparando los resultados con las horas hombre obtenidas en las mediciones, ordenando los vectores de menor a mayor error absoluto. Adicionalmente se decidió eliminar el trabajo del día 22 de Mayo de 2013, debido a que todos los vectores que no han sido eliminados presentan errores sobre el 100% (se considera error en la medición).

De esta forma se toman los 7 vectores que poseen el menor error absoluto total:

	8	**10**	**12**	**16**	**18**	**22**	**25**	**28**
1	**0.0256**	**0.0093**	**0.0123**	**0.0229**	**0.0367**	**0.0539**	**0.0191**	**0.1556**
2	0.0256	0.0091	0.0081	0.0220	0.0377	0.0552	0.0223	0.1508
3	0.0256	0.0103	0.0015	0.0220	0.0407	0.0549	0.0175	0.1574
4	0.0249	0.0113	0.0282	0.0222	0.0284	0.0479	0.0201	0.1325
5	0.0248	0.0111	0.0227	0.0209	0.0295	0.0496	0.0248	0.1247
6	0.0232	0.0111	0.0291	0.0217	0.0391	0.0475	0.0224	0.1212
7	0.0245	0.0005	0.0015	0.0262	0.0684	0.0667	0.0249	0.1925

Tabla 39 Vectores de Calibración de Menor Error en Obra Espacio 3, Elab. Propia

De dichos vectores se decidió utilizar, finalmente, el vector Nº1 para el cálculo de productividades, debido a que presenta los valores más cercanos al promedio del conjunto final de vectores:

Promedio	**0.0249**	**0.0090**	**0.0148**	**0.0226**	**0.0401**	**0.0537**	**0.0216**	**0.1478**
Vector Nº1	0.0256	0.0093	0.0123	0.0229	0.0367	0.0539	0.0191	0.1556

Tabla 40 Vector de Calibración tomado para Cálculo de HH en Doblado y Corte Obra Espacio 3, Elab. Propia

4.5.1.2 Parque Magnolio

- Días de Trabajo Medidos: 30 días.
- Tipos de fierros procesados: 6 (Ø8, Ø10, Ø12, Ø16, Ø18, Ø22).

A partir de dichas medidas, realizando el algoritmo ya señalado se obtiene:

- Total combinaciones: 736.281 vectores.

De dichas combinaciones son eliminadas todas las que tengan algún factor negativo, resultando así:

- Combinaciones positivas: 249 vectores.

El siguiente paso es estimar el consumo de horas hombre con los vectores restantes y comparando los resultados con las horas hombre obtenidas en las mediciones y ordenarlos según su error absoluto total. Al igual que en Espacio 3, se decide eliminar el trabajo de dos jornadas, 30 de Mayo y 28 de Junio, esto es debido a que el error total que poseen duplican el error de las demás jornadas.

Finalmente, los 7 vectores resultantes con menor error absoluto total son:

	8	10	12	16	18	22
1	**0.0047**	**0.0464**	**0.0240**	**0.0375**	**0.0476**	**0.0190**
2	0.0049	0.0460	0.0265	0.0370	0.0269	0.0174
3	0.0037	0.0483	0.0150	0.0405	0.1457	0.0037
4	0.0050	0.0459	0.0249	0.0373	0.0208	0.0263
5	0.0045	0.0468	0.0323	0.0358	0.0225	0.0159
6	0.0037	0.0484	0.0173	0.0391	0.1473	0.0053
7	0.0038	0.0483	0.0349	0.0353	0.0468	0.0165

Tabla 41 Vectores de Calibración de Menor Error en Obra Parque Magnolio, Elab. Propia

De dichos vectores se decidió utilizar, finalmente, el vector Nº1 para el cálculo de productividades, debido a que presenta los valores más cercanos al promedio del conjunto final de vectores:

Promedio	**0.0043**	**0.0471**	**0.0250**	**0.0375**	**0.0654**	**0.0149**	**0.0043**	**0.0471**
Vector Nº1	0.0047	0.0464	0.0240	0.0375	0.0476	0.0190	0.0047	0.0464

Tabla 42 Vector de Calibración tomado para Cálculo de HH en Doblado y Corte Obra Parque Magnolio, Elab. Propia

4.5.2 Productividad en Doblado y Corte de Materiales

Los vectores obtenidos en el inciso anterior permiten estimar la cantidad de horas hombre necesarias para preparar cierto tipo de material, información que en conjunto a las cubicaciones realizadas de los trabajos diarios que se efectuaron en cada una de las obras, permite obtener la productividad a la que trabajaban las personas dedicadas a dichas tareas.

Al igual que en el cálculo de productividad en instalación y confección de materiales, el promedio estimado para el doblado y corte se ha calculado ponderando la cantidad de kilogramos de cada elemento por su productividad, encontrando así los siguientes resultados:

	Kg/DH	
	Espacio 3	Parque Magnolio
Doblado y Corte	351.29	911.79

Tabla 43 Productividad de Doblado y Corte, Elab. Propia

Con los resultados obtenidos es posible destacar que la productividad en el doblado y corte en Parque Magnolio es significativamente mayor que en Espacio 3, superándola por, aproximadamente, un 162%.

La diferencia presente en la productividad de las obras se puede atribuir principalmente a la diferencia de elementos que se debieron preparar para la instalación, en que Espacio 3 posee fierros de mayor diámetro en su estructura principal, utilizando como máximo barras de $\emptyset 28$, en cambio Parque Magnolio solo presentaba elementos con fierros de hasta $\emptyset 22$.

En métodos de trabajo, Parque Magnolio aplicó procedimientos más avanzados y automatizados, ya que implementaron el uso de una máquina de corte de barras, a diferencia de Espacio 3, en que todos los fierros debían ser cortados mediante el uso de discos de corte, llegando así a utilizar hasta 12 disco diarios.

Las distintas metodologias de trabajo existentes en ambas obras, o incluso en otras a lo largo del pais, es posible medirlas y compararlas, donde se podria conseguir los tiempos necesarios para trabajar cada barra de fierro bajo las distintas condiciones de trabajo, pero para ello es necesaria una gran base de datos.

4.5.3 Productividad Óptima y Máxima

De forma similar al cálculo de productividad optima y máxima que se hizo en el caso de la instalación de armadura, la productividad óptima y máxima para la preparación de armadura se realiza proyectando el rendimiento si son eliminados los TNC y, en forma conjunta, TC y TNC, respectivamente.

Para el presente cálculo se tomó el uso de tiempo de los trabajadores que estuvieron asignados a la partida de doblado y corte, valores que fueron señalados en el inciso **4.3.2 Análisis Uso de Tiempo, Según Partida**. Rescatando los valores de doblado y corte y asignándolos en las categorías principales TP, TC y TNC, presentes en la *Tabla 15*.

	'Doblado/Corte'	
	Espacio 3	**Parque Magnolio**
TP	78.84	78.10
TC	11.83	11.17
TNC	9.33	10.73

Tabla 44 Uso de Tiempo en Doblado y Corte, Extracto Tabla 15, Elab. Propia

A partir de las productividades de doblado y corte ya mencionadas (*Tabla 31)*, y el procedimiento señalado en **3.3.3**, resultan las siguientes proyecciones de rendimiento:

	Kg/DH		
	Real	**Óptima**	**Máxima**
Espacio 3	351.30	404.01 (+15.01%)	445.58 (+26.84%)
Parque Magnolio	911.79	1042.19 (+14.3%)	1167.46 (+28.04%)

Tabla 45 Proyecciones de la Productividad en Doblado y Corte de Enfierradura, Elab. Propia

Los valores de la tabla muestran que ambas obras poseen la misma proyección porcentual de productividad si son eliminados TNC (producidos por baja supervisión), aumentando el rendimiento de los trabajadores en un 15%. Mejoras u optimizaciones en el trabajo del personal de la obra son los que deben ser investigados, estudiados e implementados para asi conseguir ese 15% adicional de produccion en mano de obra.

4.6 Productividad General de la Obra

Una vez que se realizó el cálculo de la productividad de instalación de armadura, más su preparación en la etapa de doblado y corte de barras, es posible estimar el rendimiento global con la que se manufacturó un elemento estructural dentro de cada obra.

Para este cálculo se utiliza la formula presentada en **3.3**, en que se realiza un promedio armónico de las 2 productividades ya mencionadas de cada elemento para posteriormente estimar la media ponderada de toda la obra, en que se considera el peso de cada subestructura para tener una mejor precisión del promedio del periodo.

Con el procedimiento ya mencionado, se llegó a los siguientes resultados:

	Kg/DH	
	Espacio 3	Parque Magnolio
Productividad Instalación	228.38	166.97
Productividad Doblado y Corte	351.30	911.79
Productividad General	**128.98**	**128.44**

Tabla 46 Productividad de Instalación, Doblado y Corte, y General, Elab. Propia

El rendimiento total en la faena de enfierradura para ambas obras tuvo valores relativamente iguales, pero hay que recordar que en Espacio 3 la instalación de la armadura fue más productiva que en Parque Magnolio y, en cambio, en este último se tuvo una mejor productividad en la preparación de las barras de acero.

La semejanza en la productividad general permite llegar a la premisa de que en caso de que una obra posea elementos estructurales más reforzados, ya sea en cantidad o en diámetros, el aumento de productividad en la instalación de mayor kilogramos por persona en un día de trabajo se ve compensada por el trabajo extra que se debe aplicar en la preparación de las barras, ya que un mayor diámetro representa mayor dificultad en el doblado y corte de éstas y, también, mayor número de elementos de refuerzo.

4.6.1 Productividad General Óptima y Máxima

De la misma forma que se calculó las proyecciones de productividad en el doblado y corte y en la instalación, es posible proyectar el rendimiento promedio de la obra en caso de aplicar nuevas metodologías de trabajo o supervisión, obteniendo los siguientes resultados:

	Kg/DH		
	Real	**Óptima**	**Máxima**
Espacio 3	128.98	152.43 (+18.18%)	163.99 (+27.14%)
Parque Magnolio	128.44	148.61 (+15.71%)	160.16 (+24.7%)

Tabla 47 Proyecciones de la Productividad en Doblado y Corde de Enfierradura, Elab. Propia

Las proyecciones de ambas obras son similares, pero es el equipo administrativo de Espacio 3 que más se vería beneficiado por mejoras en los procesos productivos y de supervisión. Esta leve diferencia puede deberse a que en edificaciones en altura es más complejo el transporte de los materiales y, por ende, mayores las esperas de los trabajadores, también es más difícil para los supervisores el control permanente de los trabajadores.

4.6.2 Análisis Probabilístico de Productividad

Debido a la cantidad de datos obtenidos a partir de las mediciones, 513 en la obra de Espacio 3 y 355 en Parque Magnolio, es necesario realizar un análisis probabilístico de los conjuntos de las productividades obtenidas para ver si sus distribuciones, en principio aleatorias, se pueden relacionar a algún tipo particular de distribución probabilística. Para el presente proyecto se analizará si existe semejanza entre los datos, cercanía a una distribución Normal y, finalmente, con la ayuda de un Software (MiniTab) se hace un checkeo de si existe otra distribución que las represente de mejor forma.

La distribución normal, o distribución gaussiana, es de suma importancia en la representación de fenómenos naturales y cotidianos. Gracias a ella se puede representar el comportamiento que tiene una cierta población solo con la media μ y su desviación estándar σ, facilitando el análisis y predicción del comportamiento futuro que tendrá cierta muestra.

Se busca corroborar la "normalidad" de la distribución de datos para respaldar la veracidad de la información recopilada y que representan correctamente el trabajo realizado por las personas involucradas en cada obra, ya que la no-normalidad de la información significaría que hubo errores en el método.

Adicionalmente, con los parámetros representativos de cada distribución (μ, σ) es posible buscar semejanzas o variables en común entre una obra u otra. En el presente trabajo, debido a que se analizaron solo 2 obras, es imposible realizar dicho estudio.

4.6.2.1 Método de Análisis

Para probar normalidad de datos, se pueden utilizar los métodos de Anderson Darling, Kolmogorov Smirnov o Ryan-Joiner. Dichos métodos poseen procedimientos similares de análisis, pero se diferencian en la importancia que le toman a cada tramo de la curva, a continuación se explica brevemente el funcionamiento de cada test.

4.6.2.1.1 Kolmogorov Smirnov (K-S)

La premisa básica de este test es comparar la frecuencia acumulativa de la muestra (S) con una función de distribución acumulativa normal asumida (F) según la media y desviación estándar de la muestra tomada. Se toma como ejemplo una muestra S y una funcion teorica F, con sus respectivas frecuencias acumulativas, S_n (negro) y F_n (verde) respectivamente, la representacion de ambas frecuencias tienen la siguiente forma:

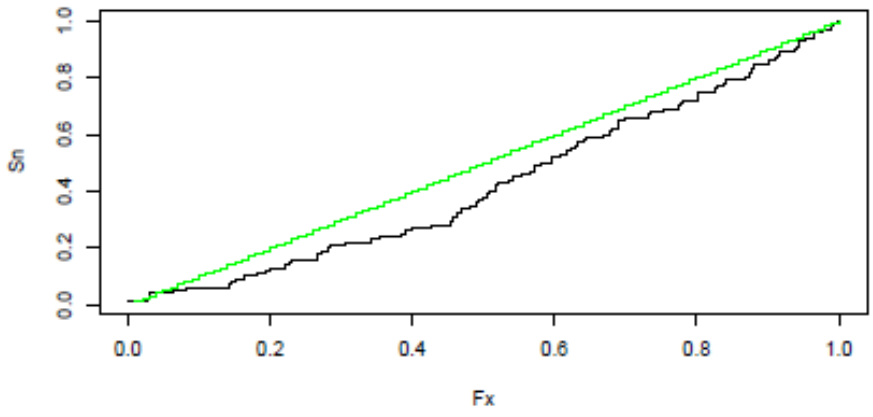


Figura 35 Funcion Acumulativa Teorica y Normal, Test Kolmogorov Smirnov, Fuente Desconocida

Para verificar la normalidad de la muestra, se calcula la probabilidad en que la mayor diferencia (D_n) entre las frecuencias experimentales $S_n(x)$ y teóricas $F(x)$ sea menor a un parámetro D_n^{α} que depende del nivel de confiabilidad utilizado. Es decir:

$$D_{a,n} = \frac{a}{\sqrt{n}} \leq |S_n(x_i) - F_n(x_i)|$$

En que a es el nivel de confianza del test, donde:

p	0.01	0.05	0.1	0.15	0.2
a	1.63	1.36	1.22	1.14	1.07

Tabla 48 Parametro a en test K-S, Elab. Propia

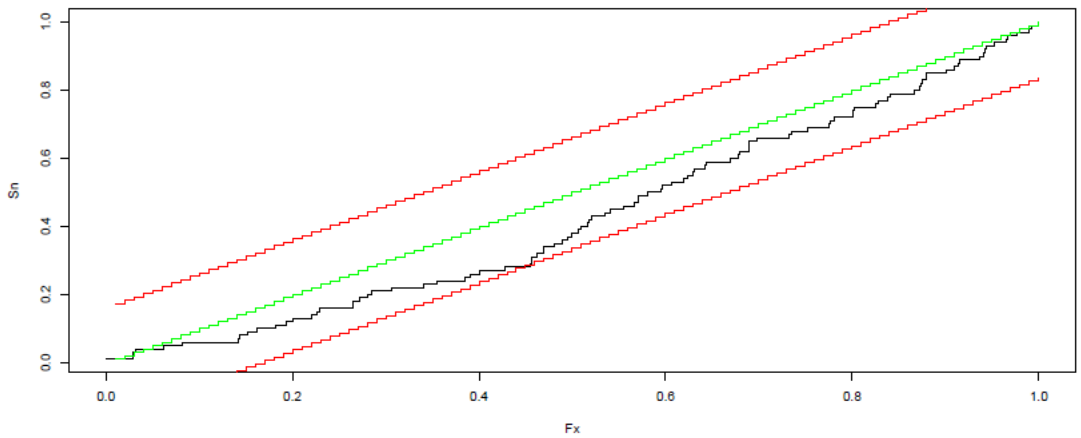


Figura 36 Rango de Normalidad en test K-S, Fuente Desconocida

4.6.2.1.2 Anderson Darling (A-D)

En el test de normalidad diseñado por Anderson y Darling, se basan en otorgar mayor importancia o poder discriminativo a las colas de las distribuciones. Este método se presentó como una solución al problema que entregaba el uso de test como Kolmogorov Smirnov, en el que se puede observar que la distribución empírica y teórica son relativamente iguales en las colas, o comienzo y fin de cada curva, lo que imposibilita a K-S de mostrar las diferencias entre ambas distribuciones.

Para conseguir darle mayor importancia a las colas de la distribución, A-D expresa los términos en función de logaritmo de probabilidades en la diferencia entre la distribución empírica y teórica.

El valor estadistico A^2 se calcula de la siguiente forma en caso de test de Normalidad:

$$A^2 = -n - (1/n)\sum_{i=1}^{n}(2i-1)[\ln(w_i) + \ln(1 - w_{n-i+1}]$$

Dicho valor es comparado con valores criticos segun el nivel de confianza del test, segun:

a	0.01	0.05	0.1
A^2_{crit}	1.035	0.752	0.631

Tabla 49 Parametro A^2 en test A-D, Elab. Propia

4.6.2.1.3 Ryan-Joiner (R-J)

Esta prueba es una modificación de la prueba de Kolmogorov Smirnov donde se le da más peso a las colas de la distribución que la prueba de K-S. Esta prueba evalua la normalidad calculando la correlacion entre sus datos y los valores normales de sus datos. Si el coeficiente de correlacion esta cerca de 1, la poblacion probablemente es normal.

Se calcula el estadistico R_j con las siguientes formulas:

$$b_i = \frac{i - 0.375}{n + 0.25}$$

$$R_j = \frac{\sum Y_i \times b_i}{\sqrt{S(n-1)\sum {b_i}^2}}$$

Si:

$H_0: R_j > R_\propto$ Se acepta que H_0 sigue una distribucion normal

$H_i: R_j < R_\propto$ Se rechaza que H_0 sigue una distribucion normal

Donde:

$$R_{\propto,n} = 1.0071 - \frac{0.1371}{\sqrt{n}} - \frac{0.3682}{n} + \frac{0.7780}{n^2} \text{ para } \propto = 0.10$$

$$R_{\propto,n} = 1.0063 - \frac{0.1288}{\sqrt{n}} - \frac{0.6118}{n} + \frac{1.3505}{n^2} \text{ para } \propto = 0.05$$

$$R_{\propto,n} = 0.9963 - \frac{0.0211}{\sqrt{n}} - \frac{1.4106}{n} + \frac{3.1791}{n^2} \text{ para } \propto = 0.01$$

4.6.2.2 Aplicación del Método

Se aplicaron los 3 test de normalidad señalados anteriormente, con ayuda del programa Minitab, a las 2 muestras, Espacio 3 y Parque Magnolio. Cabe destacar que se realizó a los datos ya filtrados por el procedimiento desarrollado en **4.4.1**.

Se presentan a continuación los parámetros descriptivos de cada muestra, el histograma de la distribución con la curva normal generada por su media y desviación (curva a la que se comparan los datos) y los resultados los test de normalidad.

4.6.2.2.1 Espacio 3

Datos Descriptivos	
Cuenta	513
Promedio	119.9423
Desviación	45.3639
Varianza	2057.8807
Curtosis	-0.0027
Sesgo	0.5165
Mínimo	26.8566
Máximo	285.1691
Rango	258.3125

Tabla 50 Datos Descriptivos de la Productividad Total en Espacio 3, Elab. Propia

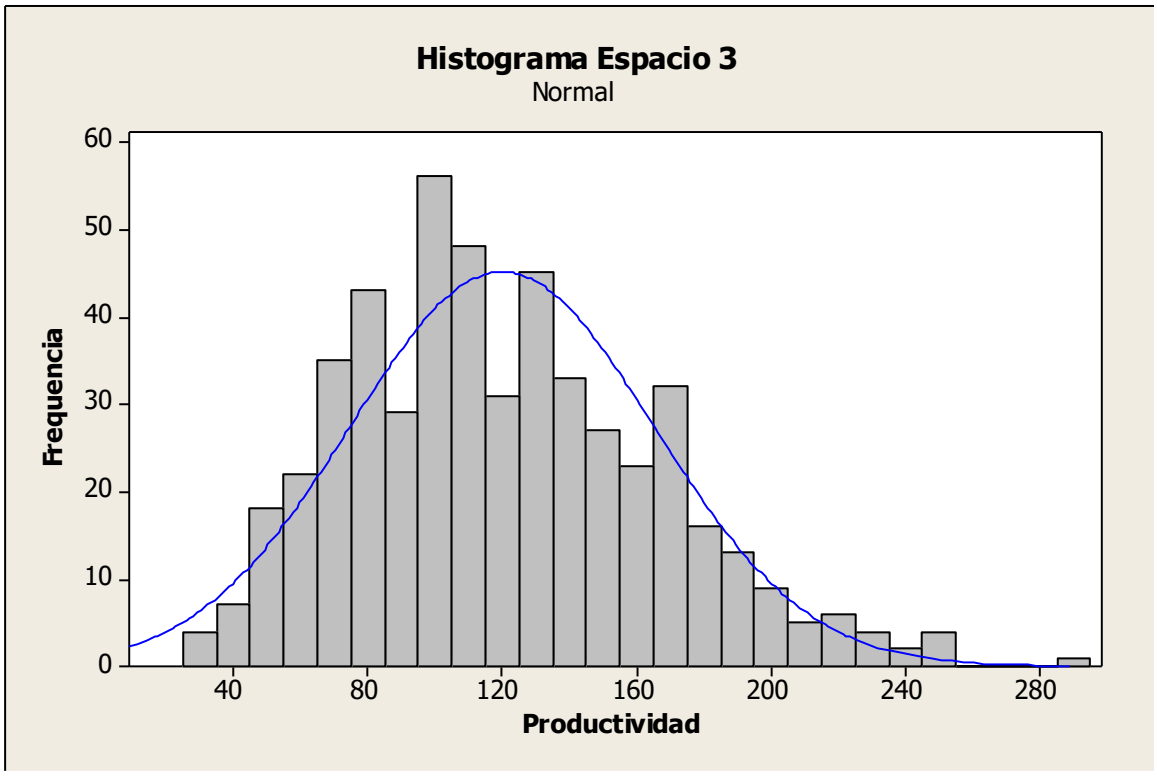


Figura 37 Histograma de Productividad Total en Espacio 3, Elab. Propia

ANDERSON DARLING:		***RYAN-JOINER (SW)***		***KOLMOGOROV-SMIRNOV***	
AD	2.408	RJ	0.990	KS	0.058
P-Value	<0.005	P-Value	<0.010	P-Value	<0.010

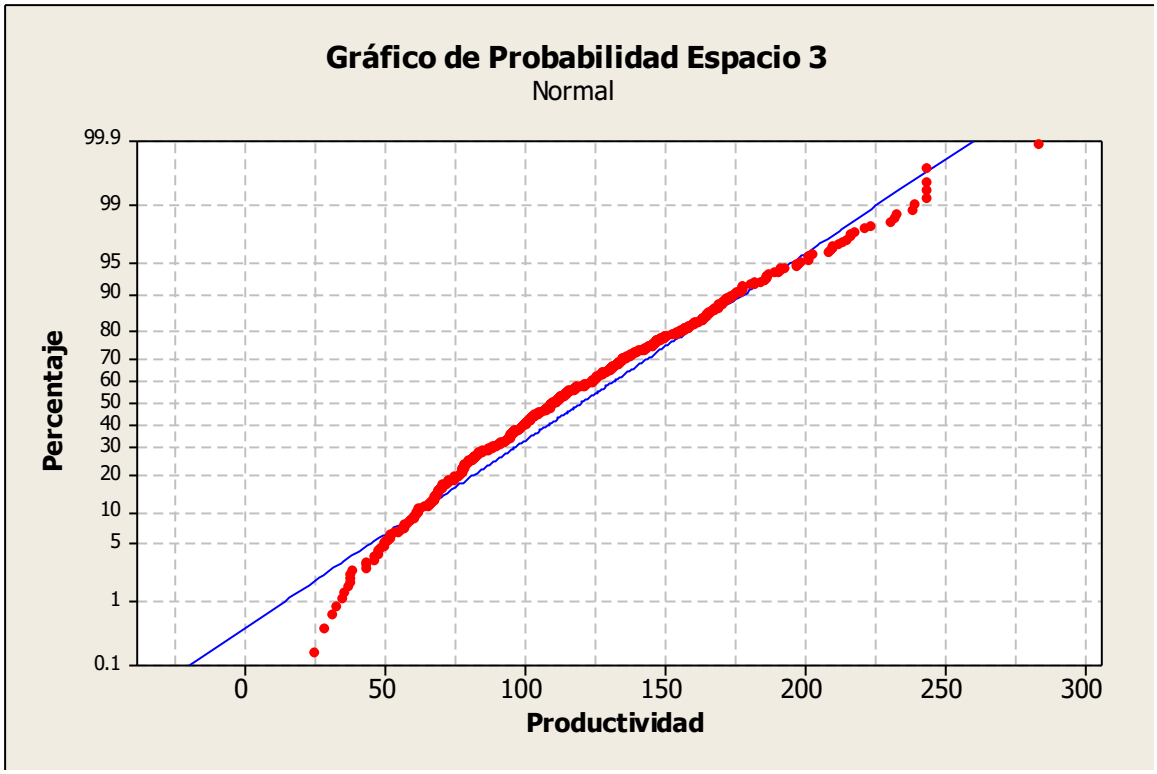


Figura 38 Gráfico de Probabilidades en Espacio 3, Elab. Propia

4.6.2.2.2 Parque Magnolio

Datos Descriptivos	
Cuenta	355
Promedio	122.3933
Desviación	70.2943
Varianza	4941.2829
Curtosis	1.7524
Sesgo	1.2077
Mínimo	6.2243
Máximo	418.0895
Rango	411.8652

Tabla 51 Datos Descriptivos de la Productividad Total en Parque Magnolio, Elab. Propia

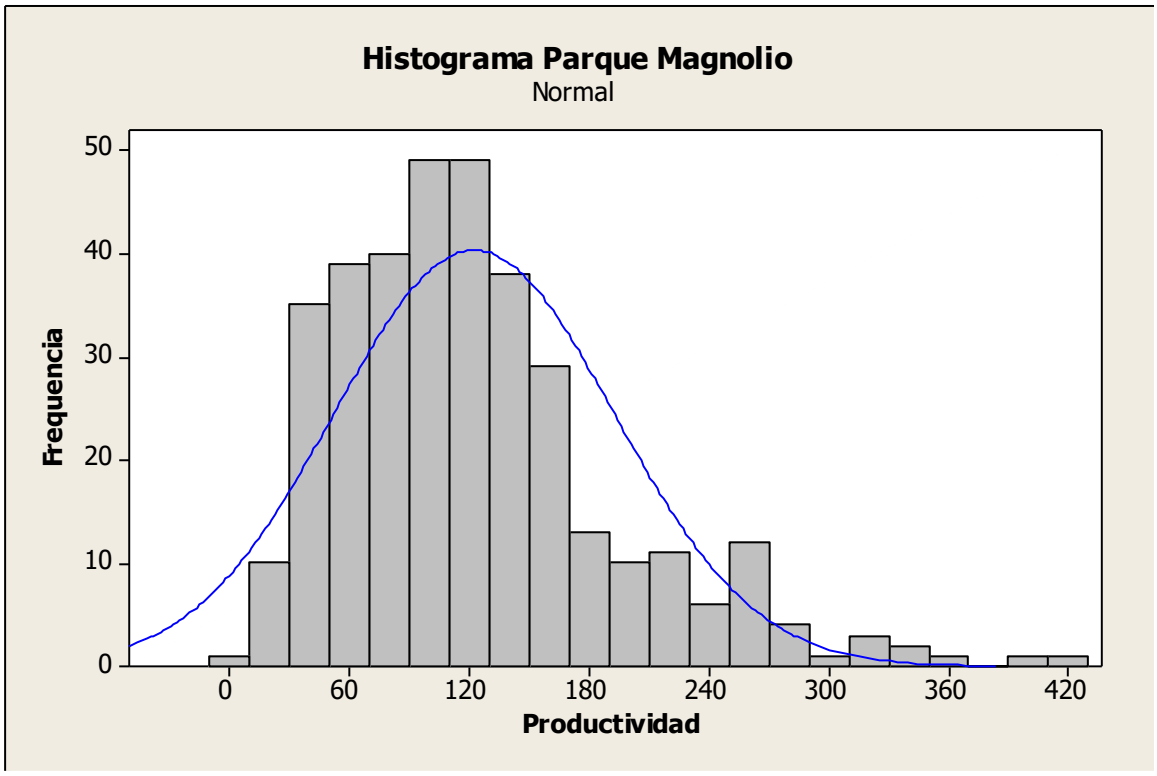


Figura 39 Histograma de Productividad Total en Parque Magnolio, Elab. Propia

ANDERSON DARLING:

AD 7.295

P-Value<0.005

RYAN-JOINER (SW)

RJ 0.958

P-Value<0.010

KOLMOGOROV-SMIRNOV

KS 0.109

P-Value<0.010

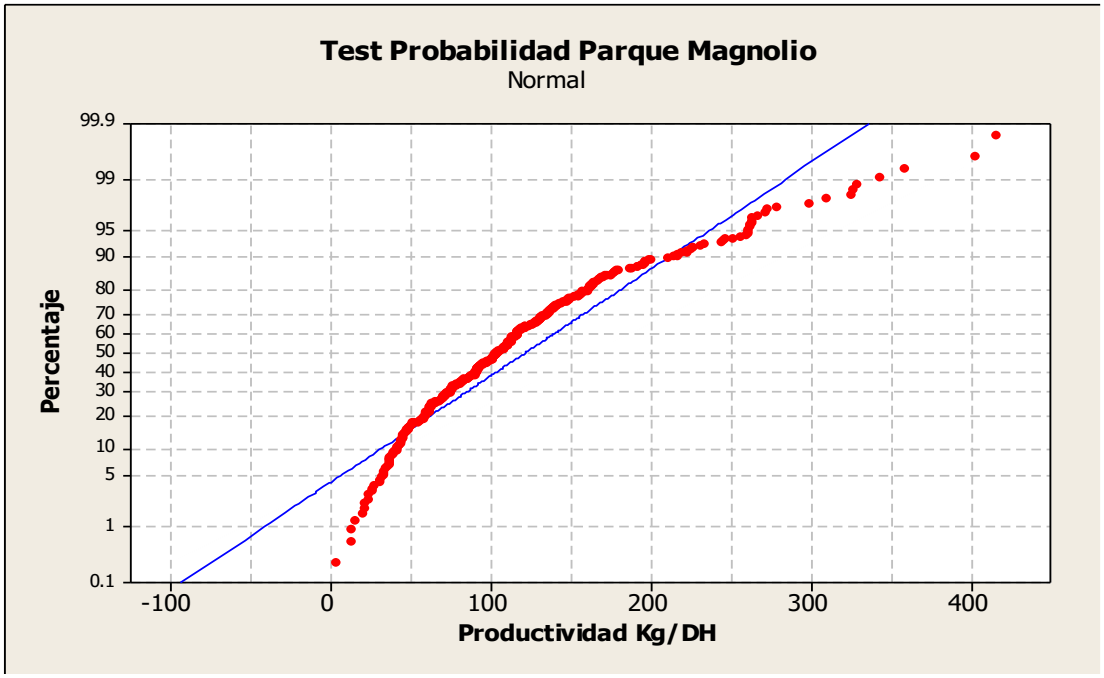


Figura 40 Gráfico de Probabilidades en Parque Magnolio, Elab. Propia

4.6.2.3 Resultados Análisis de Normalidad

Como es posible apreciar, los resultados de ambas muestras, frente a los test de K-S, A-D y R-J, entregaron valores de p tendientes a cero, significando que no se asemejan a una distribución normal.

Debido a que no presentan distribuciones normales, es importante ver si existe algún tipo de semejanza entre ambas distribuciones. La primera similitud que se puede obtener con la información presente hasta ahora es que ambas obras poseen el mismo promedio de productividad total (ponderado), pero es necesario realizar un test no paramétrico para ver si ambas muestras provienen de una misma población.

En situaciones que la gran parte de los datos no conforman el modelo o distribución que se había previsto, es necesario transformar los datos o hacer pruebas de ajuste a otras distribuciones. Sin embargo, antes de comparar con distintas distribuciones mediante prueba y error, se adopta el uso de un software (EasyFit Professional 5.6), el cual nos permite comprar los valores del test K-S y A-D de todas las distribuciones conocidas o más utilizadas.

4.6.3 Ajuste a Distribuciones Empíricas

Realizando los análisis correspondientes a cada distribución, las 2 distribuciones que resaltan frente a las otras, por tener un alto nivel de correlación según los test K-D y A-D en ambas muestras, son la familia de "Valor Extremo Generalizado" (GEV por sus siglas en inglés) y "Gamma de 3 Parámetros".

A continuación se adjuntan los resultados de los 10 mejores resultados de A-D para cada muestra. El detalle de los valores obtenidos por el software están en el Anexo 3: "*Analisis Distribuciones*".

Jerarquía	Espacio 3	Parque Magnolio
1	Johnson SB	Burr
2	Log-Pearson 3	Dagum
3	Gen. Gamma (4P)	Gen. Extreme Value
4	Weibull (3P)	Lognormal (3P)
5	Gen. Extreme Value	Pearson 6 (4P)
6	Gamma (3P)	Inv. Gaussian (3P)
7	Kumaraswamy	Fatigue Life (3P)
8	Fatigue Life (3P)	Gen. Gamma (4P)
9	Gen. Gamma	Pearson 6
10	Lognormal (3P)	Gamma (3P)

Tabla 52 Las 10 distribuciones de mejor ajuste en Espacio 3 y Parque Magnolio, Elab. Propia

El valor extremo generalizado es una distribución muy flexible que se enfoca principalmente en las colas, o datos extremos, controlando el tamaño y forma de estas en base a 3 distribuciones: Fréchet, Weibull y Gumbel. La distribución GEV se utiliza en casos que es de suma importancia mantener el control de los datos extremos, como en el caso de modelos hidrológicos o modelos de variación en el mercado de acciones. En la presente investigación los valores extremos no son de mucha importancia, ya que la manufactura de un elemento con una muy buena o mala productividad, no va a afectar el resultado del ejercicio ni en el corto ni largo plazo.

Esto nos deja con el análisis de la distribución Gamma. Dicha distribución es principalmente utilizada en el análisis y representación de la duración de procesos de ingeniería, actividades productivas, duración de precipitaciones, etc.

La distribución Gamma se representa con 3 parámetros:

- α: Parametro de Forma $(\alpha > 0)$.
- β: Parametro de Escala $(\beta > 0)$.
- γ: Parametro de Ubicación ($\equiv 0$ para distribucion Gamma de 2 parámetros).

Los parámetros de las curvas correspondientes a cada muestra (Espacio 3 y Parque Magnolio) y las funciones de densidad son:

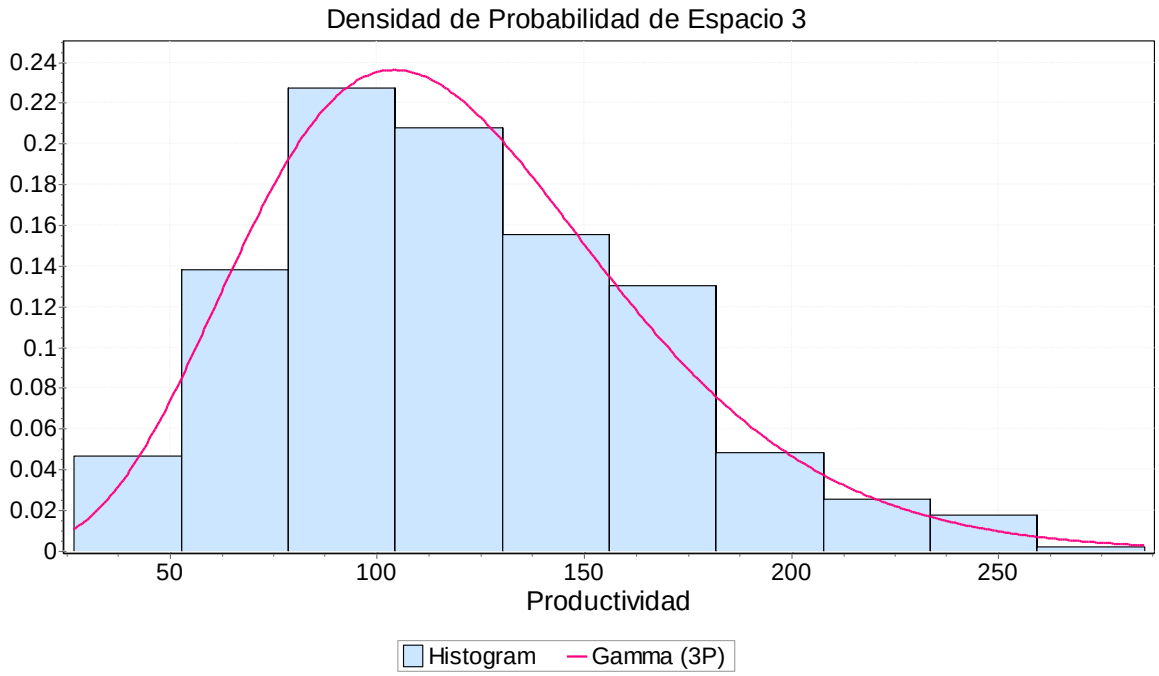


Figura 41 Densidad de Probabilidad de Espacio 3 con Distribución Gamma (3P), Elab. Propia

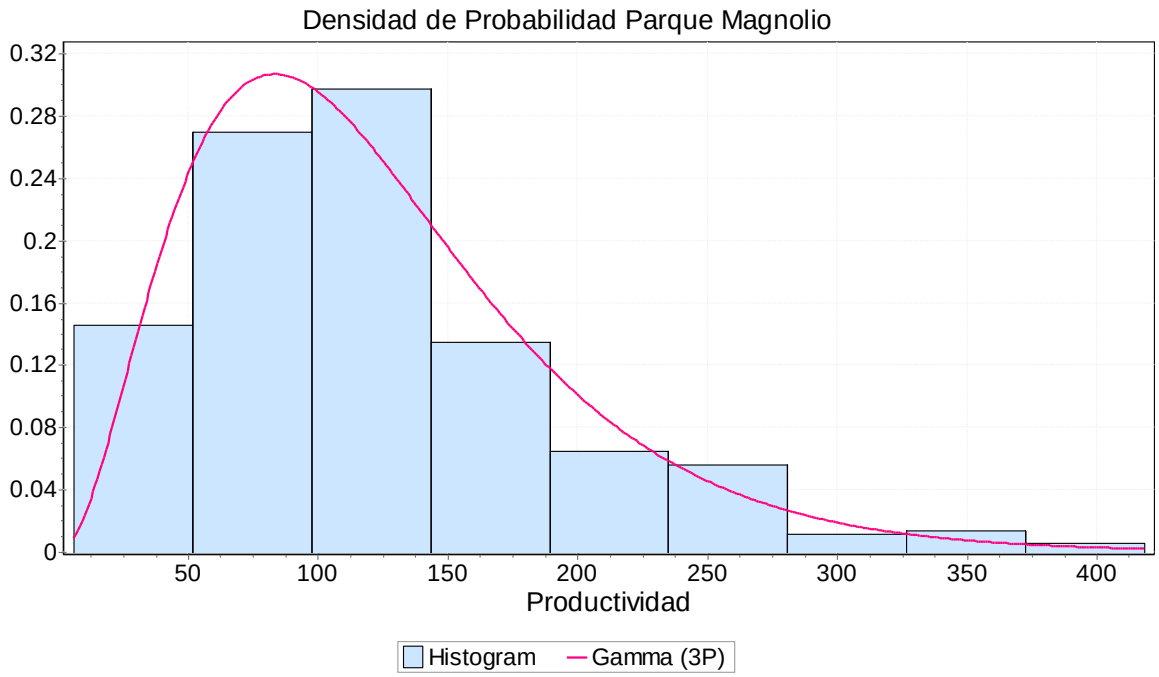


Figura 42 Densidad de Probabilidad de Parque Magnolio con Distribución Gamma (3P), Elab. Propia

	α	β	γ
Espacio 3	8.2984	15.968	-12.344
Parque Magnolio	3.1248	39.264	0.06431

Tabla 53 Parámetros de la funciónes de densidad de Espacio 3 y Parque Magnolio, Elab. Propia

Al igual que el análisis hecho para comparar las distribuciones a una curva Normal, se revisa el valor p del test de bondad de ajuste.

4.6.3.1.1 Análisis Valores P

Con el análisis de las distintas distribuciones realizado por el programa, se puede revisar en detalle los valores obtenidos para los test de K-S y A-D, junto con el valor p y el análisis de confiabilidad a distintos niveles $(1-\alpha)$.

Se presentan a continuación dichos resultados para la distribución Gamma de 3P de cada muestra, pudiendo comprobar que dichas curvas se ajustan a las muestras, pasando las pruebas de bondad de ajuste para confiabilidades de hasta un 99%.

4.6.3.1.1.1 Espacio 3

Kolmogorov-Smirnov

Tamaño Muestra	514				
Estadístico	0.02386				
Valor P	0.9248				
α	0.2	0.1	0.05	0.02	0.01
Valor Critico	0.04733	0.05394	0.0599	0.06696	0.07185
¿Rechazo?	No	No	No	No	No

Anderson-Darling

Tamaño Muestra	514				
Estadístico	0.29084				
α	0.2	0.1	0.05	0.02	0.01
Valor Critico	1.3749	1.9286	2.5018	3.2892	3.9074
¿Rechazo?	No	No	No	No	No

Tabla 54 Test de K-S y A-D para distribución Gamma (3P) en Espacio 3, Elab. Propia

4.6.3.1.1.2 Parque Magnolio

Kolmogorov-Smirnov

Tamaño Muestra	356				
Estadístico	0.0341				
P-Value	0.789				
α	0.2	0.1	0.05	0.02	0.01
Valor Critico	0.05687	0.06482	0.07197	0.08045	0.08634
¿Rechazo?	No	No	No	No	No

Anderson-Darling

Tamaño Muestra	356				
Estadístico	0.53574				
α	0.2	0.1	0.05	0.02	0.01
Valor Critico	1.3749	1.9286	2.5018	3.2892	3.9074
¿Rechazo?	No	No	No	No	No

Tabla 55 Test de K-S y A-D para distribución Gamma (3P) en Parque Magnolio, Elab. Propia

4.6.4 Prueba de Kruskal-Wallis

Como ya se mencionó, la prueba de Kruskal-Wallis es una prueba no paramétrica para analizar si dos muestras son originadas de una misma distribución. Es utilizada principalmente para comparar 2 o más muestras independientes y, que pueden tener distintos tamaños.

Gracias a que la prueba de Kruskal-Wallis es una prueba no paramétrica, no asume una distribución especifica de los datos.

Para el cálculo del estadístico K se siguen los siguientes pasos:

1. Planteamiento de Hipotesis:
   H_0: Las muestras provienen de la misma población.
   H_a: Al menos una de las muestras no proviene de la misma población.
2. Se ordenan las N observaciones de menor a mayor, y se les asignan rangos desde 1 hasta N.
3. Se obtiene la suma de los rangos de cada muestra R_i.
4. Cálculo del estadístico de prueba:

$$K = \frac{12}{N(N+1)} \sum_{i=1}^{g} \frac{R_i^2}{n_i} - 3(N+1)$$

Donde:

N: Número total de mediciones entre todos los grupos.

R_i: Suma de rangos de los datos de la muestra i.

g: Total de muestras a analizar.

5. Buscar en la Tabla de Chi Cuadrado, con grados de libertad igual a $v = g - 1$, con qué valor de p el estadístico K es menor al entregado por la tabla.
6. Si p es mayor a 0.05, entonces se acepta la hipótesis nula H_0, es decir, las muestras provienen de una misma población.

4.6.4.1 Aplicación Método.

Se realiza el método Krustal-Wallis con las hipótesis:

H_0: Las muestras provienen de la misma población.
H_a: Al menos una de las muestras no proviene de la misma población.

Posteriormente se calcula el valor de K para las muestras de Espacio 3 y Parque Magnolio:

$$K = 44.07$$

Finalmente se compara dicho valor con la Tabla de Chi Cuadrado, encontrando el valor de p tal que:

$$p < 0.001$$

Por lo tanto, se rechaza la hipótesis nula de que las muestras provienen de la misma población.

<u>Este resultado confirma que ambas muestras poseen datos muy distintos entre sí, una de las razones es que son obras completamente distintas, en lugares geográficos distintos y con distintos trabajadores</u>.

5 CONCLUSIONES Y DISCUSIÓN

5.1 RAZONES DE LAS MEDICIONES.

Las mediciones realizadas fueron hechas en base al uso de tiempo y la productividad del equipo de enfierradores por solicitud de la empresa constructora que se interesó en el estudio, ya que dicha partida es una de las que mayor personal requiere en todo tipo de obra.

En el comienzo del trabajo de investigación se estableció que los usos de tiempo de los trabajadores son uno de los principales motivos de la disminución de la productividad en las obras, razón suficiente para ser incluida en la tarea de los medidores. Los resultados obtenidos en los usos de tiempo muestran que en ambas obras había mucho terreno para la mejora en las labores de los trabajadores, y que debe implementarse un sistema de trabajo que disminuya los tiempos no contributivos con el objetivo de eliminarlos. Solo con la aplicación de métodos que eliminen el TNC, permite a la obra ganar un 18% de productividad en Espacio 3 y 16% en Parque Magnolio. Una vez que se consiga eso, y se deben diseñar métodos para disminuir los TC de los trabajadores, ya sea mediante trabajos más eficientes por parte de los trabajadores objetivo, o traspasar esos TC a mano de obra más barata, con lo que la productividad de esos trabajadores puede llegar a ser 27% más alta en Espacio 3 y 25% en Parque Magnolio.

Un sistema de trabajo existente que busca eliminar los TNC, pero de dificil aplicacion, es recurrir al pago de remuneraciones según avance invidual de cada trabajador, o “trato”. Este sistema elimina el sueldo base y apunta a que el trabajador se autocontrole por una motivacion monetaria, pero la dificultad para la empresa constructora recae en poder otorgar un sistema de entrega de materiales, revision de calidad y programacion de trabajos sin fallas, debido a que la falta de materiales genera descontento en los trabajadores porque baja su productividad y, por consiguiente, sus ingresos mensuales. Asi tambien, muchas veces se descuida la calidad en el afan, del mismo trabajador, de producir mas. Finalmente, la constructora debe tener planes de contingencia para cualquier imprevisto en las faenas u obras adicionales, puesto que los trabajadores “a trato” se ven afectados en su rendimiento sin son sacados de sus faenas para atacar estas contingencias.

Según los resultados analizados en la investigacion, se aprecia que las variaciones de productividad pueden ser muy significativas para ambas obras solo con reducir los TNC (18% en Espacio 3 y 16% en Parque Magnolio), demostrando que con mejoras en los procedimientos se podría incluso disminuir la cantidad de mano de obra contratada en 1 persona de cada 5 contratadas para la partida de enfierradura, pudiendo llegar a 1 de 4 en caso de mejorar los TC.

El método utilizado también permite medir sistemáticamente la productividad con que se han manufacturado cada elemento de la obra, permitiendo así al supervisor, jefe de terreno o administrador de obra, poder tomar medidas al corto plazo, para mejor la productividad de los próximos elementos a construir. De esta forma, los resultados de las mediciones pueden ser utilizados para:

- Elegir metodologías de trabajo.
- Comparar materiales y condiciones de compra.
- Modificar la organización de la obra.
- Evaluar nuevas máquinas o tecnologías.
- Informar y motivar continuamente a los trabajadores.

- Calcular bonos a corto plazo.

Se ha visto que el hecho de medir los componentes de la productividad de las faenas es una potente herramienta de trabajo para todos los involucrados, pero se puede trabajar de una forma mucho mas completa si es estudiada en conjunto con otros parametros, como son los procesos de logistica interna y externa de la obra, el sistema de remuneraciones, los niveles de capacitacion de las personas que trabajen con dichos resultados, o se corre el riesgo que los resultados de productividad se vuelvan solo resultados, numeros que no tienen ningun peso en las decisiones del equipo directivo.

Adicionalmente, a partir de los resultados de los test de normalidad, bondad de ajuste y Kruskal-Wallis realizados, se concluye que ambas obras poseen distribuciones muy cercanas a una Gamma de 3 parametros (con mas de un 99% de confiabilidad) pero poseen distintos parametros, hecho respaldado por K-W ya que no son provenientes de la misma población. Estos resultados son coherentes en el sentido que ambas obras son muy distintas unas de otras, tanto en dimensiones como en ubicación, pero es necesario realizar mayor cantidad de estudios, recopilar más mediciones de distintas obras y a lo largo de todo su proceso para poder llegar a comparaciones que sean representativas para un área del rubro de la construcción (habitacional, vial, etc).

5.2 APLICACIÓN E IMPLEMENTACIÓN EN EMPRESAS

La parte más difícil en implementar sistemas de medición no se encuentra en seleccionar los parámetros relevantes para medir rendimientos ni en cambiar a trabajadores que no posean la cultura de medicion, sino en cambiar la actitud de las personas en las empresas. En la actualidad parece que la administración de las empresas constructoras todavía no se han dado cuenta de los beneficios obtenidos con medir los procesos y como dichos resultados pueden ser utilizados para mejorar la productividad de la empresa. El primer paso para implementar un sistema de mediciones de productividad es, por lo tanto, cambiar la actitud de los administradores. El aumento en la competencia en Chile y la disminución en los porcentajes de utilidad que obtiene una empresa a partir del desarrollo de una obra exigen que las compañías comiencen a dedicar más recursos y tiempo en planear sistemas de medición.

Si la administración de una obra decide aplicar el uso de mediciones de productividad como una forma de mejorar el rendimiento del proyecto, los siguientes pasos deben ser tomados:

1. Investigar el total de la producción y tratar de identificar todas las partidas que sea necesario medir de la forma más detallista posible.
2. Elegir uno o dos tipos de procesos de inicio de obra que vayan derivando a las demás, no comenzar las mediciones en puntos aleatorios del proceso productivo.
3. Decidir qué mediciones usar y como medir. Es muy importante que esto sea realizado de una forma constante y uniforme.
4. Establecer etapas o periodos como “hitos”, para así formar un sistema interno de benchmarking de productividad.
5. Identificar características de los todos los proyectos, tanto de buenos como malos resultados, y utilizar este conocimiento para mejorar los procedimientos y compararlos a los utilizados en otros sitios.

Si estos pasos son realizados y se llega a una completa aplicación del método de medición, es importante que se comience a aplicar en todas las obras realizadas por una misma empresa, o por el consorcio a la

que es parte, para así aumentar la competencia interna y fomentar la innovación de los procesos para la obtención de mayores utilidades en cada obra.

Cabe destacar que la aplicacion de cualquier cambio en el proceso de una obra no puede realizarse de manera acelerada, ya que es necesario incluir e instruir a todo el personal involucrado, para poder cambiar la inercia que posee la actual obra. Como la construccion no es un proceso en que simplemente con cambiar una maquina, un chip o un cronometro se van a alterar los resultados, es muy importante diseñar un plan de implementacion de cambios. Es por esto que es mucho mas facil e ideal aplicar cambios en proyectos futuros, para que posean desde un comienzo las mejoras y nuevas filosofias de trabajo.

Tambien es necesario tener especial cuidado en no afectar la calidad del producto que se esta entregando. Ya que una disminucion de la calidad es una baja en el valor agregado del producto o la necesidad de rehacer trabajos ya realizados, y por consiguiente un descenso en la productividad.

6 BIBLIOGRAFÍA

ANG, Alfredo, TANG, Wilson. *Probability Concepts in Engineering.* John Wiley & Sons, Inc. 2nd Edition, 2007.

BALLARD, Glenn, HOWELL, Gregory A. *Competing Construction Management Paradigms*. Proceedings Of The Construction Research Conference, American Society Of Civil Engineers, Honolulu, EUA. 2003

CAMARA Chilena De La Construcción. *Informe Mach: Macroeconomía Y Construcción*, Santiago, Diciembre 2013.

CAMP, Robert C. *Benchmarking*. 1st Edition, 1993.

CORFO & Universidad Adolfo Ibañez. *Evolución De La Productividad Total De Factores En Chile.* Septiembre 2011.

CORPORACION de Desarrollo Tecnológico, CDT. *Análisis de la productividad en Obras de Edificación en Chile.* Santiago, Abril 2013

COSTA, Dayana B., FORMOSO, Carlos T., KAGIOGLOU, Michail, ALARCÓN, Luis F., CALDAS, Carlos H. *Benchmarking Initiatives in The Construction Industry*. Journal Of Management In Engineering, 2009.

GUTIÉRREZ, Marco. *38% del parque de autos en Chile tiene cinco o menos años de antigüedad* [en línea] <http://www.economiaynegocios.cl/noticias/noticias.asp?id=110852> [09 Marzo 2014]

JONSSON, Jan. *Construction Site Productivity Measurements*. Tesis Doctorado. Luleå, Luleå University of Technologyy, 1996.

JOSEPHSON, Jan. *Causes Of Defects In Construction.* Chalmers University, Gotemburgo, 1994.

KALSAAS, Bo Terje. *Work-Time Waste In Construction.* 18th Annual Conference, International Group For Lean Construction, Haifa, Israel. 2010

KOSKELA, Lauri. *Application Of The New Production Philosophy To Construction*. CIFE Technical Report #72, Stanford University, EUA. Septiembre 1992.

OECD*. Measuring Productivity Manual,* 2001.

PORTER, Michael. *Competitive Advantage.* Free Press, Londres, 1985.

SEO, Songwon. *A Review And Comparison Of Methods For Detecting Outliers In Univariate Data Sets.* Kyung hee University, Corea del Sur, 2002.