



---

---

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE YUCATÁN**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

UNIDAD DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN

**“EFECTO DE LA COMPOSICIÓN Y  
ORGANIZACIÓN DE LAS CUADRILLAS SOBRE  
LA PRODUCTIVIDAD EN ACTIVIDADES DE  
CONSTRUCCIÓN DE VIVIENDA”**

**TESIS**

PRESENTADA POR:

**I.I. CLAUDIA LORENA ARIAS SÁNCHEZ**

EN OPCIÓN AL GRADO DE

**MAESTRA EN INGENIERÍA**

OPCIÓN CONSTRUCCIÓN

**MÉRIDA, YUCATÁN, MÉXICO**

**2017**

“Aunque este trabajo hubiere servido para el Examen de Grado y hubiere sido aprobado por el sínodo, sólo el autor es responsable de las doctrinas emitidas en él.”

## **AGRADECIMIENTOS**

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por otorgarme la beca que me dio la oportunidad de completar mis estudios en un posgrado del Programa Nacional de Posgrado de Calidad (PNCP)

A la Universidad Autónoma de Yucatán (UADY) por haberme brindado la oportunidad de estudiar el posgrado en esta prestigiosa universidad del sureste de México.

A la Facultad de Ingeniería de la UADY por el apoyo del personal docente y operativo para la elaboración de esta tesis.

## RESUMEN

En la industria de la construcción y en particular en la construcción de vivienda, la composición y organización de las cuadrillas de trabajo, se ha identificado como uno de los factores que afecta la productividad laboral, con la posibilidad del potencial de retrasar los proyectos de construcción. Este fenómeno se presenta a nivel internacional, lo cual incluye a la Península de Yucatán.

Para los propósitos de esta investigación, el “método de trabajo” se consideró como el conjunto de procesos utilizados en la ejecución de una actividad, el cual integra la composición y organización de las cuadrillas, los roles del personal, las herramientas y equipos. Sin embargo, el alcance de ésta se enfocó en el estudio del efecto que tiene la composición y organización de las cuadrillas de trabajo sobre la productividad de las actividades de construcción. Es decir, que no se estudió el efecto que tienen las herramientas y equipos utilizados en la realización de las actividades observadas.

Con respecto a esto, el término “cuadrilla de trabajo” se refirió al grupo de trabajadores que participaron activamente en la ejecución de las actividades de construcción; mientras que “composición de la cuadrilla” hizo referencia a la cantidad de oficiales de albañilería y de ayudantes o peones que conforman la cuadrilla de trabajo. Por último, el término “roles de trabajo” describe la asignación de las tareas específicas que le corresponde a cada trabajador dentro de una cuadrilla de trabajo.

El objetivo del presente trabajo fue identificar el efecto que tiene la composición y organización de las cuadrillas sobre la productividad en actividades de construcción de vivienda. Para alcanzar este objetivo se llevó acabo la siguiente metodología:

1. Se seleccionaron las actividades de obra negra más representativas en la construcción de vivienda bajo el criterio del tiempo de ejecución.
2. Se realizó un estudio del trabajo con el propósito de conocer cuáles eran los métodos de trabajo que utilizaban las cuadrillas de trabajo.

3. Se realizó un muestreo del trabajo para calcular el porcentaje de tiempo productivo e improductivo de cada uno de los trabajadores de la cuadrilla.
4. Se calculó la productividad de la mano de obra en la ejecución de las tareas estudiadas.
5. Se elaboraron y validaron los modelos de simulación de las actividades estudiadas.
6. Se analizó la sensibilidad de la productividad ante diferentes composiciones de cuadrillas y organizaciones del trabajo.

De los resultados obtenidos se infirieron las siguientes conclusiones:

- De acuerdo a los parámetros de desempeño de duración del concepto de trabajo y porcentaje de utilización de los recursos (oficiales y ayudantes) obtenidos y analizados mediante los modelos de simulación, se concluyó que los mejores escenarios para el concepto de Muro se obtuvieron con cuadrillas de trabajo conformadas entre 2 y 4 oficiales de albañilería. Por su parte, en cuanto al concepto de trabajo de Techo, los mejores escenarios se obtuvieron cuando se asumió cuadrillas de trabajo conformadas entre 2 y 3 oficiales de albañilería más 1 ayudante peón. De igual forma, la cuadrilla conformada por 2 oficiales de albañilería más 2 ayudantes medias cucharas obtuvo un buen desempeño.
- De acuerdo a los parámetros de desempeño de costo de la cuadrilla de trabajo y duración del concepto de trabajo, se puede concluir que los mejores escenarios tanto para el concepto de Muro como Techo, se obtuvieron cuando se asumió cuadrillas conformadas por entre 2 y 4 oficiales albañiles y sin el empleo de ayudantes.
- Finalmente, de acuerdo a los resultados obtenidos tanto para el concepto de trabajo de Muro como Techo, se puede inferir que estos conceptos de trabajo se ejecutarían de manera más eficiente si se obviara el empleo de ayudantes (peones y medias cucharas) dentro de la composición de la cuadrilla de trabajo.

## ABSTRACT

In the construction industry, and in particular in housing construction, the composition and organization of work crews has been identified as one of the factors affecting labor productivity, with the potential for delaying construction projects. This phenomenon occurs at an international level, which includes the Yucatan Peninsula.

For the purposes of this research, the "working method" was considering the set of processes used in the execution of an activity, which integrates the composition and organization of the work crews, the roles of staff, tools and equipment. However, the scope of this study focused on the study of the effect of the composition and organization of work crews on the productivity of construction activities. In other words, the effect of the tools and equipment used on the performance of the activities observed was not considering into the study.

For the other hand, the term "work crew" referred to the group of workers who were actively involved in the implementation of construction activities, while "crew composition" referred to the number of masonry officers and helpers who make up the work force. Finally, the term "work roles" describes the assignment of specific tasks to each worker within a work crew.

The objective of this investigation was to identify the effect of crew composition and organization on productivity in housing construction activities. To achieve this objective, the following methodology was carry out:

1. The most representative black-works activities in housing construction were select according to the time of execution criterion.
2. Work-study was carry out in order to find out what work methods the work crews used.
3. Work sample was to calculate the percentage of productive and non-productive time for each of the crew workers.

4. The productivity of the workforce was calculate in the execution of the tasks studied.
5. Simulation models of the activities studied were developed and validated.
6. The sensitivity of productivity to different composition of work crews and work organizations was analyze.

The following conclusions were draw from the results obtained:

- According to the performance parameters of duration of the concept of work and percentage of use of resources (officers and helpers) obtained and analyzed by means of simulation models, it was concluded that the best scenarios for the concept of Wall obtained with work crews formed between 2 and 4 masonry officers. For its part, regarding the Roof concept of work, the best scenarios were obtained when working crews were assumed, made up of 2 to 3 masonry officers plus 1 helper pawn. Similarly, the work crew of 2 masonry officers plus 2 helpers half spoon got a good performance.
- According to the cost performance parameters of the work crew and duration of the work concept, it can be concluded that the best scenarios for both the Wall and Roof concept were obtained when we assumed crews made up of between 2 and 4 masonry officers and without the employment of helpers.
- Finally, according to the results obtained for both the Wall and Roof work concept, it can be inferred that these working concepts would be executed more efficiently without the employment of helpers (peons and half spoons) within the composition of the work crew were to be avoided.

## CONTENIDO

RESUMEN.....	iii
ABSTRACT.....	v
LISTA DE FIGURAS.....	x
LISTA DE TABLAS.....	xii
LISTA DE APENDICE.....	xiv
<b>1. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>1</b>
1.1 Planteamiento del problema .....	1
1.2 Preguntas de investigación .....	6
1.3 Objetivos.....	7
1.3.1 Objetivo general .....	7
1.3.2 Objetivos específicos .....	7
1.4 Métodos y limitaciones.....	8
<b>2. REVISIÓN DE LA LITERATURA.....</b>	<b>9</b>
2.1 Organización del trabajo .....	9
2.1.1 Definición de organización del trabajo.....	9
2.1.2 Organización del trabajo en la industria de la construcción .....	9
2.2 Factores de desempeño de los proyectos de construcción .....	13
2.3 Productividad .....	15
2.3.1 Definición de productividad en la industria de la construcción .....	16
2.3.2 Métodos para medir la productividad laboral.....	17
2.3.3 Metodología del estudio del trabajo.....	21
2.3.4 Métodos para el análisis de datos de productividad laboral .....	26
2.4 Relación entre la organización del trabajo y la productividad laboral .....	28
2.5 Simulación de operaciones.....	30
2.5.1 Simulación en el análisis de las operaciones de construcción .....	31
2.6 Conclusión .....	37

3. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN .....	38
3.1 Tipo, alcance y diseño de la investigación .....	38
3.2 Unidad de análisis y población .....	39
3.3 Procedimientos para el desarrollo del proyecto .....	41
3.3.1 Selección de las actividades a estudiar.....	42
3.3.2 Descripción de los casos de estudio .....	43
3.3.2.1 Concepto de trabajo Muro – Caso 1 .....	43
3.3.2.2 Concepto de trabajo Muro – Caso 2 .....	45
3.3.2.3 Concepto de trabajo Techo – Caso 1 .....	45
3.3.2.4 Concepto de trabajo Techo – Caso 2 .....	46
3.3.3 ETAPA 1. Estudio del trabajo .....	47
3.3.3.1 Estudio de métodos .....	48
3.3.3.2 Muestreo del trabajo .....	50
3.3.4 ETAPA 2. Pruebas de bondad de ajuste .....	53
3.3.4.1 Recolección de los datos de productividad de las tareas .....	54
3.3.4.3 Identificación de la distribución de probabilidad de las duraciones de las tareas de los casos de estudio.....	56
3.3.5 ETAPA 3. Análisis de simulación de actividades .....	59
3.3.5.1 Construcción de los modelos de simulación .....	59
3.3.6.2 Validación de los modelos de simulación .....	60
3.3.7.3 Experimentación de diversos escenarios .....	61
4. RESULTADOS .....	65
4.1 Etapa 1. Estudio del trabajo.....	65
4.1.1 Estudio de métodos.....	65
4.1.1.1 Concepto de trabajo - Muro .....	65
4.1.1.2 Concepto de trabajo – Techo .....	68
4.1.2 Muestreo del trabajo.....	71
4.1.2.1 Concepto de trabajo - Muro .....	71
4.1.2.2 Concepto de trabajo - Techo .....	74

4.2 ETAPA 2. Pruebas de bondad de ajuste .....	80
4.2.1 Recolección de datos de productividad de las tareas .....	80
4.2.2 Cálculo de las duraciones de las tareas en los casos de estudio .....	80
4.2.3 Identificación de la distribución de probabilidad de las duraciones de las tareas .....	86
4.3 ETAPA 3. Análisis de simulación de actividades .....	88
4.3.1 Construcción de los modelos de simulación .....	88
4.3.2 Validación de los modelos de simulación .....	95
4.3.3 Experimentación de los diversos escenarios .....	95
4.4 Análisis de los resultados .....	108
4.4.1 Concepto de trabajo Muro .....	108
4.5 Análisis con la inclusión del costo de la cuadrilla.....	110
4.5.1 Concepto de trabajo Muro .....	111
4.5.2 Concepto de trabajo Techo .....	111
5. DISCUSIÓN .....	113
6. CONCLUSIONES.....	117
7. RECOMENDACIONES .....	119
BIBLIOGRAFÍA .....	120
APENDICE.....	A1

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Elementos principales del estudio del trabajo .....	22
Figura 2. Proceso del estudio del trabajo. Adaptado.....	25
Figura 3. Porcentaje de oferta de vivienda según tipología.....	39
Figura 4. Diagrama de flujo de la metodología de investigación .....	41
Figura 5. Esquema para el desglose de los conceptos de trabajo en actividades y tareas .....	48
Figura 6. Ingreso de datos en el software Easyfit.....	57
Figura 7. Ajuste de distribución en el software Easyfit .....	57
Figura 8. Listado de ajuste de distribuciones en el software Easyfit .....	58
Figura 9. Prueba de bondad de ajuste en software Easyfit .....	58
Figura 10. Gráfica y parámetros de las duraciones en el software Easyfit.....	59
Figura 11. Estructura de desglose del concepto de trabajo de Muro .....	66
Figura 12. Diagrama de flujo de procesos del concepto de trabajo de Muro. ....	66
Figura 13. Estructura de desglose del concepto de trabajo de Techo.....	68
Figura 14. Diagrama de flujo de procesos del concepto de trabajo de Techo.....	69
Figura 15. Modelo de simulación – Concepto de trabajo de Muro .....	93
Figura 16. Modelo de simulación – Concepto de trabajo de Techo.....	94
Figura 17. Duración vs. Composición de la cuadrilla con oficiales y peones en el concepto Muro.....	98
Figura 18. Duración vs. Composición de la cuadrilla con oficiales y medias cucharas en el concepto Muro.....	99

Figura 19. Porcentaje de utilización de cuadrillas compuestas por oficiales y peones en concepto de Muro.....	100
Figura 20. Porcentaje de utilización de cuadrillas compuestas por oficiales y medias cucharas en concepto de Muro .....	101
Figura 21. Duración y porcentaje de utilización de cuadrilla de solo oficiales en concepto de Muro.....	102
Figura 22. Duración vs. Composición de la cuadrilla con oficiales y peones en concepto de Techo.....	103
Figura 23. Duración vs. Composición de la cuadrilla con oficiales y media cuchara en concepto de Techo.....	104
Figura 24. Porcentaje de utilización de cuadrillas compuestas por oficiales y peones para el concepto de Techo.....	105
Figura 25. Porcentaje de utilización de cuadrillas compuestas por oficiales y medias cucharas en concepto de Techo .....	106
Figura 26. Duración y porcentaje de utilización de cuadrilla de solo oficiales en concepto de Techo.....	107

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Clasificación de vivienda por precio promedio CONAVI 2010.....	40
Tabla 2. Comparación de programas de obra para selección de las actividades .....	42
Tabla 3. Simbología para la realización de los diagramas de flujo de proceso .....	49
Tabla 4. Porcentaje de tiempo productivo e improductivo del muestreo piloto.....	50
Tabla 5. Tabla de horarios aleatorios para el muestreo del trabajo.....	52
Tabla 6. Formato para la recolección de los datos del muestreo del trabajo .....	53
Tabla 7. Formato para la recolección de datos de productividad de la tarea Pegado y nivelación de block. ....	54
Tabla 8. Elementos para el modelo de simulación.....	59
Tabla 9. Escenarios para análisis de sensibilidad de los modelos de simulación. ....	61
Tabla 10. Tareas asignadas por tipo de trabajador .....	62
Tabla 11. Desglose de tareas de la actividad de Muro.....	67
Tabla 12. Desglose de tareas del concepto de trabajo de Techo.....	69
Tabla 13. Bitácora concepto de trabajo de Muro – Caso 1. ....	71
Tabla 14. Muestreo del trabajo de Muro - Caso 1. ....	72
Tabla 15. Bitácora concepto de trabajo de Muro – Caso 2. ....	73
Tabla 16. Muestreo del trabajo de Muro - Caso 2. ....	74
Tabla 17. Bitácora concepto de trabajo de Techo - Caso 1. ....	75
Tabla 18. Muestreo del trabajo de Techo - Caso 1. ....	76
Tabla 19. Bitácora concepto de trabajo de Techo – Caso 2.....	77
Tabla 20. Muestreo del trabajo Techo - Caso 2. ....	79

Tabla 21. Volúmenes de obra del concepto de trabajo Muro. ....	81
Tabla 22. Volúmenes de obra del concepto de trabajo Techo. ....	82
Tabla 23. Cantidad de trabajo para el cálculo de las duraciones de las tareas en la construcción de los modelos del concepto de Muro.....	83
Tabla 24. Cantidad de trabajo para el cálculo de las duraciones de las tareas en la construcción de los modelos del concepto de Techo.....	84
Tabla 25. Ejemplo del cálculo de las duraciones de las tareas estudiadas.....	85
Tabla 26. Distribución y parámetros de las duraciones del concepto de Techo.....	86
Tabla 27. Distribución y parámetros de las duraciones del concepto de Muro. ....	87
Tabla 28. Parámetros de entrada – Modelo de simulación Muro .....	88
Tabla 29. Parámetros de entrada – Modelo de simulación Techo .....	91
Tabla 30. Validación de los modelos de simulación .....	95
Tabla 31. Resultados de la experimentación del Modelo de Muro.....	96
Tabla 32. Resultados de la experimentación del Modelo de Techo.....	97
Tabla 33. Mejores composiciones de cuadrillas para el concepto de Muro bajo las variables de duración y porcentaje de utilización.....	108
Tabla 34. Mejores composiciones de cuadrillas para el concepto de Techo bajo las variables de duración y porcentaje de utilización.....	109
Tabla 35. Diferentes ponderaciones para el análisis de concepto de trabajo Muro y Techo.....	110
Tabla 36. Mejores composiciones de cuadrillas para el concepto de trabajo Muro.	111
Tabla 37. Mejores composiciones de cuadrillas para el concepto de trabajo Techo	112

## LISTA DE APÉNDICE

APENDICE A. Duraciones observadas para el cálculo de las productividades de las tareas .....	A1 - A9
APENDICE B. Productividades encontradas de las tareas estudiadas .....	B1 - B7
APENDICE C. Duraciones calculadas para las tareas en cada caso de estudio .....	C1 - C8
APENDICE D. Resultados con las diferentes ponderaciones para la identificación de las mejores composiciones y organizaciones de las cuadrillas. ....	D1 - D3

# 1. INTRODUCCIÓN

## 1.1 Planteamiento del problema

Dai et al. (2009) han mencionado que los trabajadores son el principal jugador en la ejecución de los procesos y actividades de la construcción, por lo cual, tienen una influencia significativa en la productividad de los trabajos. Adicional a esto, los autores mencionaron la dificultad de distinguir la influencia que tiene un solo factor sobre la productividad; esto es debido a que la productividad está influenciada por múltiples factores de forma simultánea.<sup>1</sup> La industria de la construcción integra numerosas especialidades de trabajo que a su vez realizan diferentes actividades; esta fragmentación de operaciones hace difícil una adecuada organización de los trabajos.<sup>2</sup> Adicional a esto, la industria de la construcción en México implica la realización de las actividades mayormente mediante procesos artesanales; es decir, no existe una estandarización en la ejecución de las actividades. Esto se puede deber a que las empresas constructoras generalmente subcontratan la mano de obra para sus proyectos y delegan a los subcontratistas (destajistas) prácticamente toda la responsabilidad de la administración de este recurso, lo cual incluye la planeación y el control del método de trabajo.

Sin embargo, también en el contexto internacional Liberda y Jergeas (2003) identificaron los problemas de gestión y de recursos humanos como las principales categorías que afectan a la productividad de los proyectos de construcción. Estos autores concluyeron que dentro de los factores asociados a los recursos humanos, la experiencia y habilidad de los trabajadores fue el segundo que más afectó la productividad en actividades de construcción.<sup>3</sup>

---

<sup>1</sup> Jiukun Dai et al., "Latent structures of the factors affecting construction labor productivity," *Journal of Construction Engineering and Management* 135, no. 5 (2009): 397–406.

<sup>2</sup> Jose Antonio González, "Administración efectiva de proyectos de construcción en el contexto de las Pymes" (Mérida, Yucatán, 2010).

<sup>3</sup> G. Liberda, M., Ruwanpura, J., and Jergeas, "Construction productivity improvement: A study of human, management and external issues," *Construction Research Congress*, 2003, pp. 1–8.

Por otro lado, Thomas et. al. citado por Matt Watkins et al. (2009) concluyeron, con su estudio que la gestión ineficaz del flujo de trabajo condujo a una ineficiencia laboral del 51% y 58% de pérdida del total de horas de trabajo. De acuerdo a Thomas et al., el flujo de trabajo se refiere al orden establecido para realizar una actividad, e incluye la secuenciación y sincronización entre las diferentes tareas de una misma actividad. Matt Watkins et al. (2009) También se refirieron al trabajo de Homas y Horman para señalar que la congestión en el sitio de construcción puede causar ineficiencias costosas en el flujo de trabajo que impactan negativamente en la productividad.<sup>4</sup> El trabajo organizado requiere de la actuación de un conjunto de personas que realizan aquellas actividades especializadas para obtener resultados parciales o finales que corresponden con un objetivo previsto. La organización del trabajo se establece mediante procesos de análisis, especialización, secuenciación y coordinación integradora de las actividades de trabajo.<sup>5</sup>

La organización del trabajo es estudiada mediante la ingeniería de métodos, la cual se enfoca en el diseño, creación y selección de los mejores métodos de trabajo. El método de trabajo integra los roles y habilidades del personal, así como los procesos, herramientas y equipos; esto con el propósito de establecer un estándar de tiempo permitido para llevar a cabo una determinada actividad. Los objetivos primordiales del estudio de los métodos de trabajo son: (1) incrementar la productividad y (2) reducir los costos unitarios.<sup>6</sup> Los expertos en ingeniería de métodos, utilizan varias técnicas para establecer un estándar, entre las cuales se encuentran los estudios de tiempos y movimientos, la recolección computarizada de datos, los datos estándares, los sistemas de tiempos predeterminados, el muestreo

---

<sup>4</sup> Matt Watkins et al., "Using agent-based modeling to study construction labor productivity as an emergent property of individual and crew interactions," *Journal of Construction Engineering and Management* 135, no. 7 (2009): 657–67.

<sup>5</sup> M. Fernández-Rios, *Análisis descripción de puestos de trabajo: teoría, métodos y ejercicios*; editorial Díaz de Santos, Madrid (1995).

<sup>6</sup> B. Niebel, *Ingeniería Industrial: métodos, tiempos y movimientos*, ed. McGraw Hill/ Interamericana Editores, 12th ed., (1990).

del trabajo y los pronósticos con base en datos históricos.<sup>7</sup> Cada técnica es aplicable en ciertas condiciones y el analista debe de utilizar la técnica adecuada bajo un criterio y forma correcta.

Por ejemplo, E. Meyer (2000) referenció a Frank y Lilia Gilbreth, quienes estudiaron el mejoramiento de los métodos y movimientos para la construcción de edificios. Observaron que cada albañil tenía su propio método de trabajo y no había dos que lo hicieran exactamente igual. Los cambios implementados por los Gilbreth aumentaron la cantidad de trabajo que podía ejecutar un albañil en una jornada.<sup>8</sup>

Como se menciona anteriormente, diversas investigaciones han reportado el método de trabajo, especialmente en cuanto a la composición y organización de las cuadrillas, así como a los roles y la habilidad de los trabajadores, como uno de los factores que afectan la productividad de la mano de obra. De igual manera, se ha reportado que la baja productividad laboral es uno de los factores que causa retrasos en la ejecución de los trabajos y por consecuencia, en la entrega de las obras dentro del plazo establecido. Por lo tanto se puede inferir que los factores relativos a la mano de obra empleada en los proyectos de construcción tienen un alto impacto sobre la productividad de los trabajos y el desempeño de los proyectos.

Cabe anticipar entonces que este proyecto de investigación se enfocó en identificar cómo la organización de las cuadrillas, en particular la composición de la cuadrilla y los roles que ejecuta cada trabajador en ella, afecta la productividad de las actividades de construcción. Debido a que para el desarrollo de esta investigación se contó con una cantidad limitada de tiempo, dentro del alcance de éste proyecto no fueron considerados los factores del método de trabajo relacionados con las herramientas y equipos.

De igual forma, autores locales como internacionales han estudiado el efecto que ocasiona la productividad laboral de la mano de obra sobre los proyectos de

---

<sup>7</sup> Ibid.

<sup>8</sup> F. E. Meyers, Estudios de tiempos y movimientos (Pearson educación, 2000).

construcción, obteniendo como resultado que la productividad de la mano de obra es uno de los principales factores que ocasiona retrasos en los proyectos de construcción. (Solís et al., 2009<sup>9</sup>; Gunduz y Nielsen, 2012<sup>10</sup>; Abd El-Razek et al., 2008<sup>11</sup>)

Sin embargo, de acuerdo con Corona (1999), es difícil medir el efecto que tienen la organización y la composición de las cuadrillas de trabajadores sobre la productividad y el tiempo de ejecución de las actividades de construcción, ya que en la realización de estas actividades influyen diversos factores y no es factible aislar el efecto de uno sólo de estos. Esto es especialmente cierto cuando se trata de medir físicamente dicho efecto. Al respecto, Corona también argumentó que las técnicas de simulación, especialmente la simulación de eventos discretos, permitirían estimar mediante un contexto virtual el efecto que tienen las variables específicas asociadas a la organización y composición de las cuadrillas de trabajo sobre las variables de productividad de las actividades de construcción.<sup>12</sup>

Autores como AbouRizk y Wales (2013)<sup>13</sup>, Gonzalez-Quevedo et al. (1993)<sup>14</sup>, Senior y Halpin (1998)<sup>15</sup>, Cabrera et al. (2012)<sup>16</sup>, Vanegas et al. (1993)<sup>17</sup>, Hassan y Gruver

---

<sup>9</sup> R. G. Solís Carcaño, J. Martínez Delgadillo, and J. González Fajardo, "Estudio de caso : Demoras en la construcción de un proyecto en México," *Revista Ingeniería* 13 (2009): 41–48.

<sup>10</sup> Murat Gündüz, Yasemin Nielsen, and Mustafa Özdemir, "Quantification of delay factors using the relative Importance index method for construction projects in Turkey," *Journal of Management in Engineering* 29, no. April (2012): 133–39.

<sup>11</sup> M. E. Abd El-Razek, H. A. Bassioni, and A.M Mobarak, "Causes of delay in building construction projects in Egypt," *Journal of Management in Engineering and Management* 134, no. 11 (2008): 831–41.

<sup>12</sup> Gilberto Corona, "Método constructivo y administración de materiales – Factores que afectan la productividad de la mano de obra en la construcción masiva de vivienda" (Universidad Autónoma de Yucatán, 1999).

<sup>13</sup> Simaan M. Abourizk and Rod J. Wales, "Combined discrete-event/continuous simulation for project planning," *Journal of Chemical Information and Modeling* 53, no. 9 (2013): 1689–99.

<sup>14</sup> Antonio A. Gonzalez-Quevedo et al., "Comparison of two simulation methodologies in construction," *Journal of Construction Engineering and Management* 119 (1993): 573–89.

<sup>15</sup> Bolivar A. Senior and Daniel W. Halpin, "Simplified simulation system for construction project," *Journal of Construction Engineering and Management*, no. February (1998): 72–81.

<sup>16</sup> Adriana Gómez Cabrera et al., "Mejoramiento de procesos constructivos a partir de un módulo programable para captura de imágenes y simulación digital," *Revista Ingeniería de Construcción* 27, no. 2 (2012): 35–53. Op cit.

(2008)<sup>18</sup>, Lu y Wong (2007)<sup>19</sup>, han utilizado metodologías de simulación en el análisis de métodos constructivos. Adicionalmente dichos autores también han considerado que el enfoque más apropiado para modelar y analizar operaciones de construcción es la simulación de eventos discretos, debido a que la mayoría de las actividades de la construcción ocurren en puntos específicos del tiempo.<sup>20</sup> De igual forma, la simulación de eventos discretos permite el modelado dinámico de un sistema a medida que evoluciona con el tiempo, por una representación en la que las variables de estado cambian instantáneamente en puntos separados en el tiempo.<sup>21</sup>

A su vez, Rabelo et al. (2005) han argumentado que la simulación de eventos discretos tiene la ventaja de ser flexible y no necesitar las muchas suposiciones de simplificación como en la investigación de operaciones o la inteligencia artificial. Estos mismos autores consideran que la simulación de eventos discretos (DES) es el método de simulación más ampliamente utilizado en aplicaciones de fabricación.<sup>22</sup> La DES puede describir los sistemas más complejos en cualquier nivel de detalle mientras se incluyan elementos estocásticos, que no se pueden describir fácilmente por otros modelos analíticos. Además, permite realizar el seguimiento del estado de las entidades y los recursos individuales y estimar numerosas medidas de rendimiento en una amplia gama de condiciones de funcionamiento previstas.<sup>23</sup>

Abduh y Pratama (2010) también se refirieron a las ventajas de la aplicación de simulación y argumentaron que los análisis deberían ser implementados en

---

<sup>17</sup> Jorge A. Vanegas, Edmundo B. Bravo, and Daniel W. Halpin, "Simulation technologies for planning heavy construction processes," *Journal of Construction Engineering & Management* 119, no. 2 (1993): 336–54.

<sup>18</sup> Marwa M. Hassan and Stan Gruber, "Simulation of concrete paving operations on Interstate-74.," *Journal of Construction Engineering and Management* 134, no. 1 (2008): 2–9.

<sup>19</sup> Ming Lu and Lap-Chi Wong, "Comparison of two simulation methodologies in modeling construction systems: Manufacturing-Oriented PROMODEL vs. Construction-Oriented SDESA," *Automation in Construction* 16, no. 1 (2007): 86–95.

<sup>20</sup> Hassan and Gruber, "Simulation of concrete paving operations on Interstate-74." Op cit.

<sup>21</sup> Averill M. Law and W. David Kelton, *Simulation modeling and analysis*, third edit (Mc Graw Hill, 2000).

<sup>22</sup> Luis Rabelo et al., "Enterprise simulation: A hybrid system approach," *International Journal of Computer Integrated Manufacturing* 18, no. 6 (2005): 498–508.

<sup>23</sup> Ibid.

operaciones específicas de la construcción que sean adecuadas y factibles. Esto con el fin de ser capaces de determinar la combinación óptima de los recursos necesarios en una operación de construcción particular y lograr predecir su productividad.<sup>24</sup>

Por lo anterior, en este proyecto de investigación se consideró pertinente utilizar la técnica de simulación de eventos discretos para estudiar mediante un contexto virtual el comportamiento de las variables del método de trabajo (composición y organización de las cuadrillas de trabajo), con el fin de estimar en términos cuantitativos el desempeño (productividad y tiempo de ejecución) que resultaría cuando las actividades se realizan con cuadrillas de trabajo ideales en cuanto a su composición y organización, para luego compararlo con los resultados obtenidos en las condiciones reales del trabajo.

## **1.2 Preguntas de investigación**

1. ¿Cuáles son los métodos de trabajo que utiliza la mano de obra en la ejecución de las actividades de construcción de vivienda?
2. ¿Cómo determinar el efecto que tiene el método de trabajo sobre la productividad y tiempo de ejecución de las actividades de construcción de vivienda?

---

<sup>24</sup> M. Abduh, F. Shanti, and A. Pratama, "Simulation of construction operation: Search for a practical and effective simulation system for construction practitioners," *Simulation*, 2010.

## **1.3 Objetivos**

### **1.3.1 Objetivo general**

Determinar el efecto que tiene la composición y organización de las cuadrillas de trabajo sobre la productividad en actividades de construcción de vivienda.

### **1.3.2 Objetivos específicos**

1. Identificar la composición y organización de las cuadrillas y los roles de trabajo que utiliza la mano de obra en la ejecución de actividades de construcción de vivienda.
2. Determinar las distribuciones de probabilidad que mejor representan las duraciones de las tareas de construcción estudiadas.
3. Realizar un análisis de simulación que permita la estimación del efecto que tiene la composición y organización de las cuadrillas, sobre la productividad y tiempo de ejecución en actividades de construcción de vivienda.

Cabe aclarar que para los propósitos de esta investigación el “método de trabajo” se consideró como el conjunto de procesos utilizados en la ejecución de una actividad, el cual integra la composición y organización de las cuadrillas, los roles del personal, las herramientas y equipos. Sin embargo, el alcance de ésta se enfocó en el estudio del efecto que tiene la composición y organización de las cuadrillas de trabajo sobre la productividad de las actividades de construcción. Es decir, que no se estudió el efecto que tienen las herramientas y equipos utilizados en la realización de las actividades observadas.

Con respecto a esto, el término “cuadrilla de trabajo” se refirió al grupo de trabajadores que participaron activamente en la ejecución de las actividades de construcción; mientras que “composición de la cuadrilla” hizo referencia a la cantidad de oficiales de albañilería y de ayudantes o peones que conforman la cuadrilla de trabajo. Por último, el término “roles de trabajo” describe la asignación de las tareas específicas que le corresponde a cada trabajador dentro de una cuadrilla de trabajo.

## 1.4 Métodos y limitaciones

En la presente investigación se recolectaron datos en campo para conocer cuál era el método de trabajo que utilizaban los trabajadores en la ejecución de los trabajos de Muro, dentro de los cuales se consideraron las actividades de construcción de muro de block, castillos armados, cerramientos y cadena de nivelación. Mientras que dentro de los trabajos de Techo se incluyeron las actividades de construcción de traveses y losa de tipo vigueta y bovedilla.

Adicionalmente, para el estudio de cada uno de estos dos conceptos de trabajo, se realizaron dos casos de estudio para conocer cuáles eran los porcentajes de tiempos improductivos y productivos en las actividades asociadas a estos. Una vez identificados los métodos de trabajo y tiempos productivos e improductivos, se procedió a realizar un análisis de simulación de diversos escenarios de composición y organización de las cuadrillas de trabajo. Para determinar su efecto sobre la productividad y tiempo de ejecución de los conceptos de trabajo estudiados (Muro y Techo).

También cabe aclarar que en esta investigación no se tuvo en cuenta la interacción entre los conceptos de trabajo estudiados, ni el efecto que tendría la composición de las cuadrillas sobre la productividad y tiempo de ejecución de otros conceptos de trabajo. Por su parte, en este caso las mediciones de las productividades de las tareas que se incluyeron en los conceptos estudiados, no se realizaron por tipo de trabajador, sino que se asumió que los oficiales, medias cucharas, o los peones podían realizar cualquier tarea con la misma productividad.

## **2. REVISIÓN DE LA LITERATURA**

### **2.1 Organización del trabajo**

#### **2.1.1 Definición de organización del trabajo**

Para que una organización funcione adecuadamente debe existir una repartición de actividades y asignación de recursos que permitan que cada uno de los trabajadores realice una función específica, en un espacio físico, definiendo las herramientas y métodos de trabajo que deben emplearse. En toda organización del trabajo se encontrará un reparto de tareas o actividades entre sus miembros con la intención de regular su funcionamiento. De tal manera, “organizar el trabajo supone diseñar la estructura de las relaciones de trabajo dentro de un grupo, establecer los roles de trabajo asignados a cada persona y las interrelaciones entre dichos roles”<sup>25</sup>.

#### **2.1.2 Organización del trabajo en la industria de la construcción**

Uno de los primeros estudios de organización del trabajo en la industria de la construcción fue el realizado por Frank y Lilia Gilbreth (1990) que desarrollaron la técnica de estudio de movimientos al realizar una operación, para mejorarla mediante la eliminación de movimientos innecesarios, simplificación y determinación de la secuencia de movimientos más favorable para la eficiencia máxima.<sup>26</sup> En su estudio los Gilbreth analizaron el oficio de colocar ladrillos y mejorar los métodos mediante el estudio de movimientos y la capacitación del operario; lograron aumentar el número de ladrillos colocados a 350 piezas por hora, mientras que antes del estudio se consideraba que 120 ladrillos por hora era una tasa satisfactoria de desempeño.

---

<sup>25</sup> Carlos Alvarez Fernandez, Organización del trabajo. Modelos, ed. Bubok, 2010.

<sup>26</sup> Niebel, Ingeniería Industrial: Métodos, tiempos y movimientos. Op cit.

La organización del trabajo directo en la industria de la construcción, hace referencia a la distribución del personal dentro de la obra y a la asignación de las tareas a cada cuadrilla de trabajo.<sup>27</sup>

Se define como cuadrilla al conjunto organizado de personas que realizan un trabajo. Para la industria de la construcción, las cuadrillas de trabajo son los equipos de trabajo compuesto por oficiales y ayudantes con el objeto de ejecutar una determinada actividad. Arcudía, Solís y Baeza (2004) definen la cuadrilla de trabajo como la composición de un número variable de albañiles que trabajan para un mismo contratista y son destinados a una actividad específica.<sup>28</sup>

Navas, Ridl y Torés (2012) realizaron un análisis de tiempos de duración de una tarea, de acuerdo con las composiciones usuales de diferentes cuadrillas con el fin de desarrollar una metodología que permitiera conocer cuál es la cuadrilla óptima, es decir, que produzca menor desperdicio de tiempo en la ejecución del trabajo encomendado. En su investigación realizaron un modelo matemático, tomando como factores la cantidad de trabajo del oficial y la cantidad de trabajo del ayudante; como resultado, los autores proponen unas planillas de cálculo que facilitan en gran medida el trabajo de asignar la composición de las cuadrillas. Esta herramienta permite realizar sucesivos tanteos que permitirán adoptar los resultados que hagan más eficiente el puesto de trabajo que se estudie.<sup>29</sup>

Dozzi y AbouRizk (1993) reportaron que existe un tamaño óptimo de cuadrilla, así como un óptimo contenido de mano de obra de expertos (oficiales) vs. de mano de obra no calificada (ayudantes). Los autores mencionaron que cualquier desviación en esta composición óptima, afectaría negativamente a la productividad. Como conclusión, mencionan que el tamaño óptimo de la cuadrilla es el número mínimo de

---

<sup>27</sup> Salvador López and Jaime Llanes. Organización de obra y control de personal, 2da edición (Valladolid, España.: Lex Nova, 2009).

<sup>28</sup> Carlos Arcudía, Rómel Solís, and Julio Baeza, "Determinación de los factores que afectan la productividad de la mano de obra de la construcción" 8 (2004): 145–54.

<sup>29</sup> Raúl F. Navas, María R. Ridl, and Liliana Torés, "Mano de obra en la construcción: Determinación de la cuadrilla óptima por medio de una herramienta de simulación," Ingeniería 16, no. 2 (2012): 151–63, <http://www.revista.ingenieria.uady.mx/volumen16/mano.pdf>.

trabajadores requeridos para que económicamente se pueda completar una tarea dentro de los plazos previstos; reportando que a medida que se aumenta o disminuye desde el nivel óptimo el número de trabajadores que componen una cuadrilla, la productividad varía proporcionalmente.<sup>30</sup>

Dado lo anterior, para el desarrollo de esta investigación, se adoptará como definición de cuadrilla al grupo de trabajadores que ejecuta una misma actividad de construcción. Por otra parte, la composición de la cuadrilla se refiere a la cantidad de oficiales albañiles y la cantidad de ayudantes o peones que conforman una misma cuadrilla de trabajo. Por último, el rol de los trabajadores define las tareas específicas que le corresponde ejecutar a cada trabajador que forma parte de una cuadrilla, en relación a la forma y secuencia en que se ejecuta una actividad.

La organización del trabajo a su vez está compuesta por el método de trabajo en que se ejecutarán las diversas actividades de construcción. Se define como método, al conjunto de procesos para llevar a cabo un trabajo. El estudio de métodos es el examen sistemático de los métodos de trabajo con el fin de mejorar la utilización de los recursos y establecer normas de rendimiento con respecto a las actividades que se están realizando.<sup>31</sup>

El método de trabajo es estudiado mediante técnicas de estudio de trabajo: (1) el estudio de métodos es el registro y examen crítico de los modos de realizar una actividad, con el fin de mejorarla, (2) la medición del trabajo es la aplicación de técnicas para determinar el tiempo que invierte un trabajador calificado en llevar a cabo una tarea, según una norma de rendimiento preestablecida y (3) el diseño del

---

<sup>30</sup> S. P. Dozzi and S.M. AbouRizk, Productivity in construction (Ottawa, 1993), <http://web.mit.edu/parmstr/Public/NRCAn/nrcc37001.pdf>.

<sup>31</sup> Freddy Alfonso Duran, Ingeniería de métodos. Globalización: Técnicas para el manejo eficiente de recursos en organizaciones fabriles, de servicios y hospitalarias. (Guayaquil, Ecuador: Universidad de Guayaquil, 2007).

lugar de trabajo pretende diseñar lugares de trabajo de forma tal que cause la menor fatiga y no afecte la salud del trabajador.<sup>32</sup>

En cuanto a la industria de la construcción, Baldwin y Bordoli (2014), definen el método de construcción como una forma y secuencia de trabajo que incluye calcular la duración de la actividad, escoger la composición de la cuadrilla y los recursos para cada actividad, así como planear una secuencia lógica de construcción, con el fin de proporcionar un documento de fácil comprensión que pueda ser comunicado a los que van a llevar a cabo el trabajo en el sitio.<sup>33</sup>

Por otra parte, López y Llanes (2009) definieron las instrucciones de trabajo como la forma de ejecutar cada una de las actividades del proceso constructivo, en las cuales se especifican los distintos pasos que se deben llevar a cabo para ejecutar una tarea, los medios que se emplearán y los requisitos de calidad.<sup>34</sup>

Por su parte, Clough et al. (2000) mencionaron que rara vez una operación de trabajo de construcción se puede realizar de una sola forma, por lo cual los autores proponen que la elección del método se debe hacer después de la evaluación de las características de tiempo y de costos de las alternativas factibles. Con frecuencia, los estudios se realizan con la experiencia y la disponibilidad de los equipos para prescribir la mayoría de opciones de procedimientos de construcción; sin embargo, hay momentos en que la elección operativa es lo suficientemente importante como para justificar la realización de un estudio comparativo detallado.<sup>35</sup>

Adicionalmente, entre los procesos constructivos que forman parte del desarrollo de un proyecto se pueden identificar actividades productivas que agregan valor a la actividad, actividades contributivas que aportan un soporte a las actividades

---

<sup>32</sup> Niebel, Ingeniería Industrial: Métodos, tiempos y movimientos. Op cit.

<sup>33</sup> Andrew Baldwin and David Bordoli, A handbook for construction planning and scheduling (John Wiley & Sons, Ltd, 2014).

<sup>34</sup> López and Llanes, Organización de obra y control de personal. Op cit.

<sup>35</sup> Richard Clough, Glenn Sears, and Keoki Sears, Construction project management, 4ta edición, 2000.

productivas, y las actividades no contributivas que se consideran como pérdidas en el proyecto.<sup>36</sup>

Gómez Cabrera et al. (2012) realizaron un estudio acerca del mejoramiento de los procesos constructivos a partir de captura de imágenes y simulación digital, en donde concluyeron que el análisis de procesos constructivos basado en datos reales observados en campo, representa una ventaja sobre otros métodos de planeación.<sup>37</sup>

Finalmente, para los propósitos de esta investigación el “método de trabajo” se entenderá como el conjunto de procesos utilizados en la ejecución de una actividad, el cual integra la organización y composición de las cuadrillas, los roles del personal, las herramientas y equipos.

Debido al limitado tiempo para el desarrollo de éste proyecto de investigación, las variables del método de trabajo referentes a las herramientas y equipos no serán consideradas dentro del alcance de la investigación; es decir, que se tomarán como variables constantes dentro de los modelos de simulación. Se asumirán las herramientas y equipos más utilizados en el contexto local para la recolección de los datos de productividad y la modelación de las actividades a analizar.

## **2.2 Factores de desempeño de los proyectos de construcción**

Weegelius-Lehtone (2004) define el desempeño de los proyectos de construcción como la retroalimentación o información sobre las actividades en relación con el cumplimiento de las expectativas del cliente y los objetivos estratégicos.<sup>38</sup> En otras palabras, el desempeño hace referencia a los resultados obtenidos en la ejecución de las actividades del proyecto.

---

<sup>36</sup> Gómez Cabrera et al., “Mejoramiento de procesos constructivos a partir de un módulo programable para captura de imágenes y simulación digital.” Op cit.

<sup>37</sup> Ibid.

<sup>38</sup> Tutu Weegelius-Lehtone, “Performance measurement in construction logistics,” *Journal of Management in Engineering* 20, no. 2 (2004): 42–50.

Por su parte, Corona (1999) mencionó que la evaluación del desempeño en los proyectos de construcción debe considerar los resultados de productividad, calidad, programación y seguridad.<sup>39</sup>

En congruencia González (2010) sugiere que el desempeño de los proyectos de construcción, debe ser visto de una manera integral: primero la dimensión técnica referente a los objetivos de calidad y por otro lado, la dimensión administrativa referente a los objetivos de productividad, medida en términos de tiempo y costo.<sup>40</sup>

De la misma manera, Bititci et al. (2001) mencionaron que el desempeño de los proyectos de construcción, es la evaluación del rendimiento de las estrategias de costo, calidad, entrega y flexibilidad.<sup>41</sup>

Mientras que González y Alarcón (2003) proponen que el desempeño de los proyectos de construcción se mida en función de la reducción de la variabilidad en factores como: desviación de plazos (atrasos), desviación de costos (sobrecostos), aumentos de producción y productividad, a su vez los autores mencionan que la confiabilidad de los procesos, la restricción de técnicas iniciales, la curva de aprendizaje, son indicadores que afectan el desempeño de los proyectos de construcción.<sup>42</sup>

Dado lo anterior, se puede concluir que diversos autores proponen que el desempeño de los proyectos de construcción es medido mediante el cumplimiento de los objetivos de calidad, tiempo o entrega de la obra y costos. Como parámetros adicionales, para la medición del desempeño de los proyectos se debe considerar la

---

<sup>39</sup> Corona, "Método constructivo y administración de materiales – factores que afectan la productividad de la mano de obra en la construcción masiva de vivienda." Op cit.

<sup>40</sup> González, "Administración efectiva de proyectos de construcción en el contexto de las pymes."

<sup>41</sup> U.S. Bititci, P. Suwignjo, and A.S. Carrie, "Strategy management through quantitative modelling of performance measurement systems," *International Journal of Production Economics* 69, no. 1 (2001): 15–22.

<sup>42</sup> Vicente González and Luis Fernando Alarcón, "Buffers de programación: una estrategia complementaria para reducir la variabilidad en los procesos de construcción," *Construction* (Santiago, Chile, 2003).

flexibilidad de los objetivos, las expectativas de los clientes, la seguridad del trabajo y la curva de aprendizaje, entre otros.

## 2.3 Productividad

Botero y Acevedo (2011) mencionan que la productividad se presenta como la relación existente entre lo producido y los recursos gastados. Es posible medir la productividad de los diferentes recursos que intervienen en una empresa, tales como los materiales, herramientas, equipos y mano de obra.<sup>43</sup>

Rojas y Aramvareekul (2003) definen la productividad laboral como la salida generada por hora trabajada. Mencionan que para calcular los valores de productividad de una industria, se requieren tres tipos de información: la producción de la industria, los datos de empleo de la industria, y el número medio de horas trabajadas.<sup>44</sup>

A su vez, Botero y Alvares (2004) mencionan que la productividad involucra la eficiencia y la efectividad, ya que no tiene sentido producir una cantidad de obra si ésta presenta problemas de calidad; adicionalmente, los autores sugieren que el objetivo de cualquier proceso productivo es lograr una alta productividad, lo que se consigue mediante la obtención de alta eficiencia y efectividad de sus recursos.<sup>45</sup>

---

<sup>43</sup> Luis Fernando Botero Botero and Harlem Acevedo Agudelo, "Simulación de operaciones y línea de balance: herramientas integradas para la toma de decisiones," *Ingeniería Y Ciencia - Ing.cienc.* 7, no. 13 (2011): 29–45.

<sup>44</sup> Eddy M. Rojas and Peerapong Aramvareekul, "Is construction labor productivity really declining?," *Journal of Construction Engineering and Management* 129, no. 1 (2003): 41–46.

<sup>45</sup> Luis Fernando Botero Botero and Martha Eugenia Álvarez Villa, "Guía de mejoramiento continuo para la productividad en la construcción de proyectos de vivienda (Lean Construction como estrategia de mejoramiento)," *Revisa Universidad EAFIT* (Medellin, 2004).

### 2.3.1 Definición de productividad en la industria de la construcción

Serpell (2003) define la productividad en la construcción como "la medición de la eficiencia con que los recursos son administrados para completar un proyecto específico, dentro de un plazo establecido y con un estándar de calidad dado".<sup>46</sup>

Se puede hablar entonces de diferentes clases de productividad en la construcción, de acuerdo con los recursos considerados como materiales, mano de obra, maquinaria entre otros. En proyectos de construcción pesada y vías terrestres, el factor que fija el ritmo de trabajo es el uso de la maquinaria; mientras que en proyectos de edificación, en los cuales está enfocada esta investigación, la productividad de la mano de obra representa el factor fundamental ya que normalmente es el recurso que fija el ritmo de trabajo en este tipo de proyectos.<sup>47</sup> Por lo anterior, este proyecto se enfocó en la medición y análisis de la productividad de la mano de obra empleada en proyectos de construcción de vivienda.

Baeza et al. (2003) define la unidad de medición de la productividad diaria de una cuadrilla como la razón entre la cantidad de horas-hombre (hh) utilizadas en realizar el concepto estudiado y el número de los conceptos producidos en el día, es decir horas hombre sobre unidad (hh/u).<sup>48</sup>

Por otra parte, Pino (2002) define la productividad como la relación entre el volumen ejecutado del trabajo realizado y la cantidad de horas-hombre invertidas en la ejecución durante la jornada laboral.<sup>49</sup>

---

<sup>46</sup> Alfredo Serpell, Administración de operaciones de construcción, Alfaomega Editores, ALFAOMEGA, vol. 1, 2003.

<sup>47</sup> Botero Botero and Álvarez Villa, "Guía de mejoramiento continuo para la productividad en la construcción de proyectos de vivienda (Lean Construction como estrategia de mejoramiento)." Op cit.

<sup>48</sup> Julio R. Baeza Pereyra, Romel Solís Carcaño, and Carlos E. Arcudia-abad, "Utilizando información acerca de productividad de mano de obra y simulaciones computacionales en el salón de clase," Revista Ingeniería de Construcción 18 (2003): 14–21.

<sup>49</sup> G. E. Pino Rosado, "El absentismo y la rotación de los albañiles en la construcción masiva de vivienda: variables que afectan la productividad. Mérida: Tesis de Maestría, Universidad Autónoma de Yucatán." (Universidad Autónoma de Yucatán, 2002).

### 2.3.2 Métodos para medir la productividad laboral

Shehata y El-Gohar (2012) en su investigación mencionan que la productividad se puede definir de muchas maneras según el propósito que se desee. Para fines de medir la productividad en el sitio de trabajo, los contratistas se han interesado en medir la productividad de la mano de obra. Para lo cual, los autores proponen:<sup>50</sup>

$$\text{Productividad laboral} = \frac{\text{salidas}}{\text{horas de trabajo}}$$

Donde las *salidas* hace referencia al volumen de obra realizado para determinada actividad y las *horas de trabajo* a las horas hombre empleadas para realizar ese volumen de trabajo.

Adicionalmente, a nivel local, Baeza et al. (2003) recolectaron los datos de productividad en diferentes actividades de construcción mediante el seguimiento del trabajo realizado por una cuadrilla, misma que constituye la unidad básica de observación de la productividad de la mano de obra. Las cantidades de obra realizadas en el día dieron lugar a una base de datos numérica. Adicional a esto, los autores observaron durante un período de tiempo definido cada una de las actividades realizadas por la cuadrilla.<sup>51</sup>

Por otra parte, Dozzi y AbouRizk (1993) en su libro *Productividad en la Construcción*, proponen una metodología para determinar el tiempo productivo que invierte un trabajador en una jornada laboral, en la cual se clasifican las observaciones de productividad laboral en “trabajo” y “no trabajo” mediante un valor nominal de campo. La fracción de “trabajo” hace referencia a la medida de eficacia de la actividad. Para recoger una muestra aleatoria, el observador observa en el sitio a los trabajadores. Una vez que una muestra ha sido recogida, la clasificación de campo se calcula

---

<sup>50</sup> Mostafa E. Shehata and Khaled M. El-Gohary, “Towards improving construction labor productivity and projects’ performance,” *Alexandria Engineering Journal* 50, no. 4 (2012): 321–30.

<sup>51</sup> Julio R. Baeza Pereyra, Romel Solís Carcaño, and Carlos E. Arcudia-abad, “Utilizando informacion acerca de productividad de mano de obra y simulaciones computacionales en el salón de clase,” *Revista Ingenieria de Construccion* 18 (2003): 14–21.

como el total de observaciones en la categoría de "trabajo" dividido por el número total de observaciones, más del 10% para dar cuenta de la actividad del capataz y supervisión, de la siguiente manera:<sup>52</sup>

$$\text{Valor nominal de campo} = \frac{\text{Observaciones Totales de Trabajo}}{\text{Número total de observaciones}} + 10\%$$

Donde las *observaciones totales de trabajo* hacen referencia a las observaciones donde se identifica que los trabajadores están realizando trabajo productivo (trabajo), mientras que el *número total de observaciones*, son el total de observaciones realizadas tanto de "trabajo" como de "no trabajo".

Dozzi y AbouRizk (1993) también proponen que el valor nominal de campo debe ser más o menos del 60% para considerar un trabajo como satisfactorio, y mencionan el siguiente ejemplo: si un capataz hiciera 100 observaciones de los trabajadores y sólo 40 fueran clasificadas como "trabajo" en ese momento, entonces la evaluación de campo sería del 50%, es decir, se consideraría insatisfactorio el tiempo productivo. Este método no proporciona información acerca de las fuentes de los problemas o ineficiencias, simplemente sugiere que hay algo mal que está generando baja productividad laboral.<sup>53</sup>

A su vez Dozzi y AbouRizk (1993) describieron el método de muestreo del trabajo, el cual se basa en el muestreo estadístico, debido a que la cantidad de tiempo dedicado a la recolección de datos es limitada. El método se basa en recoger una muestra, analizarla, y construir un límite de confianza a su alrededor. El muestreo de trabajo estima el porcentaje de tiempo que un trabajador es productivo, para lo cual se clasifican las observaciones en tres tipos: trabajo productivo (trabajo directo), trabajo semiproductivo (que participan en el apoyo del trabajo productivo), y no

---

<sup>52</sup> Dozzi and AbouRizk, Productivity in construction. Op cit.

<sup>53</sup> Ibid.

productivo (retrasos).<sup>54</sup> A continuación se describen los pasos que los autores sugieren para la recolección de los datos de productividad:

- a. Clasificar las tareas en los tres diferentes puntos descritos anteriormente.
- b. Desarrollar un formulario de recogida de datos que facilite el conteo de las observaciones en el lugar.
- c. Tomar observaciones aleatorias de los trabajadores que participan en una operación determinada. La observación debe indicar el tipo de operación que realizan.
- d. Registrar todas las observaciones necesarias e introducir una marca de verificación apropiada a la actividad observada.
- e. Sumar todas las marcas de verificación y calcular el porcentaje de cada tarea.

De forma similar, Botero y Alvares (2004) midieron la productividad laboral como un porcentaje del total de las horas laborales. Estos autores proponen la siguiente clasificación: el tiempo productivo (TP) es el utilizado para realizar actividades que agregan valor; el tiempo contributivo (TC) es el atribuido a labores de soporte necesarias para realizar trabajos productivos, y por último el tiempo no contributivo (TNC) que hace referencia a pérdidas tales como las actividades que no agregan valor.<sup>55</sup> En su investigación, los autores midieron la productividad de las actividades de construcción en diversas obras que utilizaron el mismo sistema constructivo; como ejemplo ilustran los muros vaciados en concreto, donde se estableció como unidad de medida de producción cada metro cúbico de concreto fundido en moldes metálicos, haciendo comparable las diferentes obras. En ese caso, se consideraron las horas hombre dedicadas a la realización de las siguientes actividades: colocación de refuerzo en muros y losas, colocación de cimbra en muros y losas, así como vaciado del concreto en muros y losas.

---

<sup>54</sup> Ibid.

<sup>55</sup> Botero Botero and Álvarez Villa, "Guía de mejoramiento continuo para la productividad en la construcción de proyectos de vivienda (Lean Construction como estrategia de mejoramiento)." Op cit.

Por último, Thomas et. al. (1984) proponen una clasificación para establecer diferentes categorías de trabajo. Dicha clasificación está compuesta por trabajo productivo y trabajo improductivo, cada uno de los cuales incluye ciertas actividades que brevemente se explican a continuación.<sup>56</sup>

Actividades clasificadas en la categoría de trabajo productivo:

- Trabajo directo: movimientos del trabajador respectivos a la colocación final del material, los cuales representan un avance real del proceso. Puede tratarse de trabajo directo en el puesto de trabajo y fuera del puesto de trabajo.
- Manejo de materiales: movimientos del trabajador dedicados a la manipulación del material con el fin de apoyar la ejecución del trabajo directo. El manejo de materiales puede ser en el puesto de trabajo o fuera del puesto de trabajo.
- Traslado: movimientos del trabajador dedicados al acarreo de materiales o herramientas necesarias para la ejecución de una tarea.
- Nivelación: movimientos auxiliares para asegurar la correcta colocación final de un material.
- Recibiendo instrucciones: tiempo que el trabajador emplea para adquirir la información necesaria para la ejecución de las tareas. Se puede tratar de instrucciones de otro miembro de la cuadrilla, del contratista, del residente, etc.
- Andamios: movimientos dedicados al armado o desplante de estructuras auxiliares para la ejecución de una actividad.

Actividades clasificadas en la categoría de trabajo improductivo:

- Esperas: interrupción del trabajo por no contar con algún elemento necesario para continuar realizando una tarea. Se puede tratar de una espera por

---

<sup>56</sup> H. Randolph Thomas, José M. Guevara, and Carl T. Gustenhoven, "Improving productivity estimates by work sampling," *Journal of Construction Engineering and Management* 110, no. 2 (1984): 178–88.

instrucciones, por herramienta o equipos, por material, por otro miembro de la cuadrilla, por el supervisor, etc.

- Retorno: traslado del trabajador con las manos vacías al área de trabajo o donde se encuentre suministrando algún elemento útil para el proceso de una tarea.
- Personal: tiempo empleado por el trabajador para llevar a cabo necesidades fisiológicas o de ocio en la obra.
- No se encontró al trabajador: tiempo en el que un trabajador se ausenta de su área de trabajo sin justificación.

### **2.3.3 Metodología del estudio del trabajo**

March (2009) en su libro administración de operaciones para la construcción describe la metodología para el estudio del trabajo (ver figura 1). En el estudio del trabajo es necesario contar con datos basados en la medición del trabajo, con el fin de planificarlo con precisión, estimarlo y producir objetivos para los sistemas de incentivos. La descomposición de las actividades en elementos discretos y la medición con cronómetro sirve para estudiar el método de trabajo con el fin de mejorar los tiempos que se necesitan para llevar a cabo una operación o volver a organizar el trabajo de manera que pueda ser llevado a cabo con menos personal.<sup>57</sup>

Tal como se aprecia en la Figura 1, el estudio del trabajo se compone por el estudio de métodos y la medición del trabajo. El estudio de métodos implica la descomposición de una operación en sus diferentes tareas y su análisis sistemático. Por su parte, la medición del trabajo hace referencia a la medición científica del trabajo humano, en donde se debe establecer cuánto tiempo se debe tomar un trabajador en la ejecución de diferentes actividades con un gasto razonable de esfuerzo; es decir, no se trata de llevar al trabajador al punto de agotamiento. Según

---

<sup>57</sup> Chris March, Operation management for construction, Taylor & Francis (London & New York: Spon Press, 2009).

March (2009), la medición del trabajo sirve para evaluar el rendimiento pasado o presente del trabajo, o para predecir el rendimiento futuro del mismo.<sup>58</sup>

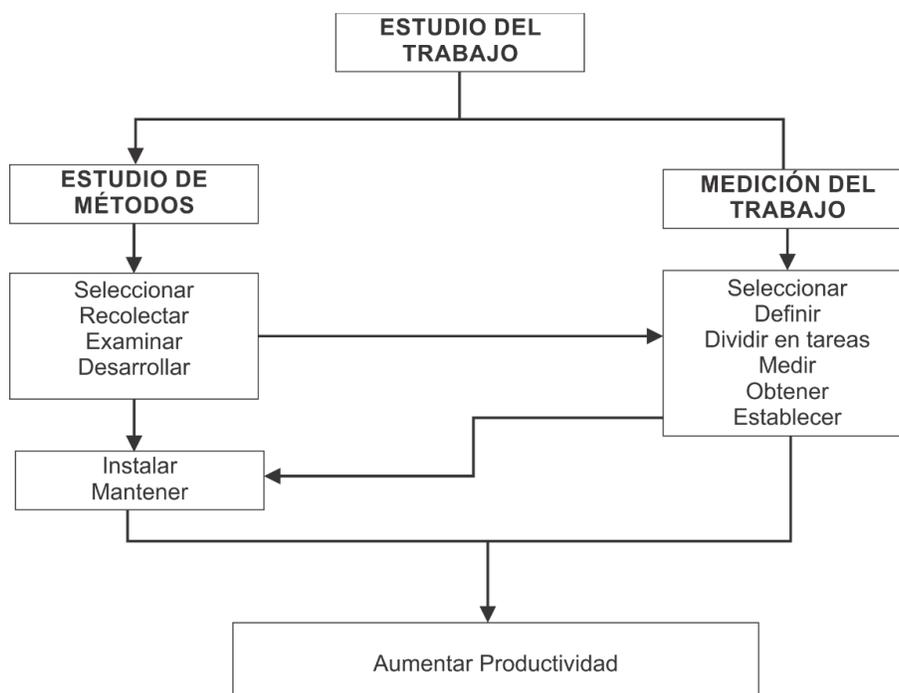


Figura 1. Elementos principales del estudio del trabajo (Adaptado de March, 2009)

A continuación se presenta una breve explicación de cada una de las etapas del estudio del trabajo propuesto por March (2009),<sup>59</sup> de acuerdo con las etapas del estudio de métodos:

- **Seleccionar:** etapa donde se escogen las actividades a ser estudiadas por razones tales como mal diseño del sitio o de la planificación de la operación que resulta en movimientos innecesarios de materiales o mano de obra, alta fatiga de los trabajadores, alta rotación de personal, inconsistencia en la calidad, exceso de tiempo empleado en una actividad, entre otras.
- **Recolectar:** etapa donde se recolectan los tiempos de ejecución de las cuadrillas de trabajo, identificando el trabajo individual de cada uno de los

<sup>58</sup> Ibid.

<sup>59</sup> Ibid.

trabajadores que compone una cuadrilla. La recolección se puede hacer mediante diagramas de flujo de procesos, los cuales describen una actividad por medio de cinco símbolos (operación, transporte, demora, almacenamiento e inspección), en la que todas las actividades se pueden dividir. Por otra parte existen los cuadros de actividades múltiples, los cuales son ideales para trabajos de construcción en donde las actividades son ejecutadas por cuadrillas de trabajo, lo cual da cabida al registro de múltiples tareas de múltiples trabajadores y son claras de entender.

- **Examinar:** etapa donde se analizan los datos a fondo y se determina la situación actual en detalle, con el propósito de desarrollar soluciones o mejora para los procesos.
- **Desarrollar:** etapa donde se desarrollan los nuevos métodos de trabajo teniendo en cuenta el ambiente de trabajo, los movimientos, las necesidades del trabajador, los recursos para el desarrollo de la actividad, entre otros.
- **Instalar y mantener:** etapa donde se implementa el nuevo método, se capacita a los trabajadores y se vela por el cumplimiento del mismo. Se recomienda implementar el método en un caso de estudio para evaluar la efectividad de los cambios propuestos, y determinar si se logró el objetivo de aumentar la productividad de los trabajos.

En cuanto a la medición del trabajo, se deben seleccionar las actividades a ser medidas, definir claramente las actividades, dividir las mismas en tareas simples, medir el tiempo de ejecución de las tareas, calcular el tiempo estándar promedio de ejecución.

Por su parte, Thomas et al. (1990) mencionaron que el estudio del trabajo es el estudio sistemático de las actividades del trabajo, con el fin de encontrar el método de trabajo que proporcione los costos mínimos y determine el tiempo estándar de

producción.<sup>60</sup> Estos autores coinciden con March (2009) en cuanto a que el estudio del trabajo está compuesto por dos partes fundamentales, el estudio del método de trabajo, y la medición del trabajo. El estudio del método de trabajo (a veces llamado estudio de movimientos) consiste en encontrar el método preferido de hacer el trabajo, mientras que la medición del trabajo se utiliza para determinar el tiempo estándar para realizar una tarea determinada. En la Figura 2 se presenta la metodología del estudio del trabajo propuesta por Thomas et. al. (1990)<sup>61</sup>

---

<sup>60</sup> H. Randolph Thomas et al., "Modeling Construction Labor Productivity," *Journal of Construction Engineering & Management* 116, no. 4 (1990): 705–26.

<sup>61</sup> Ibid.

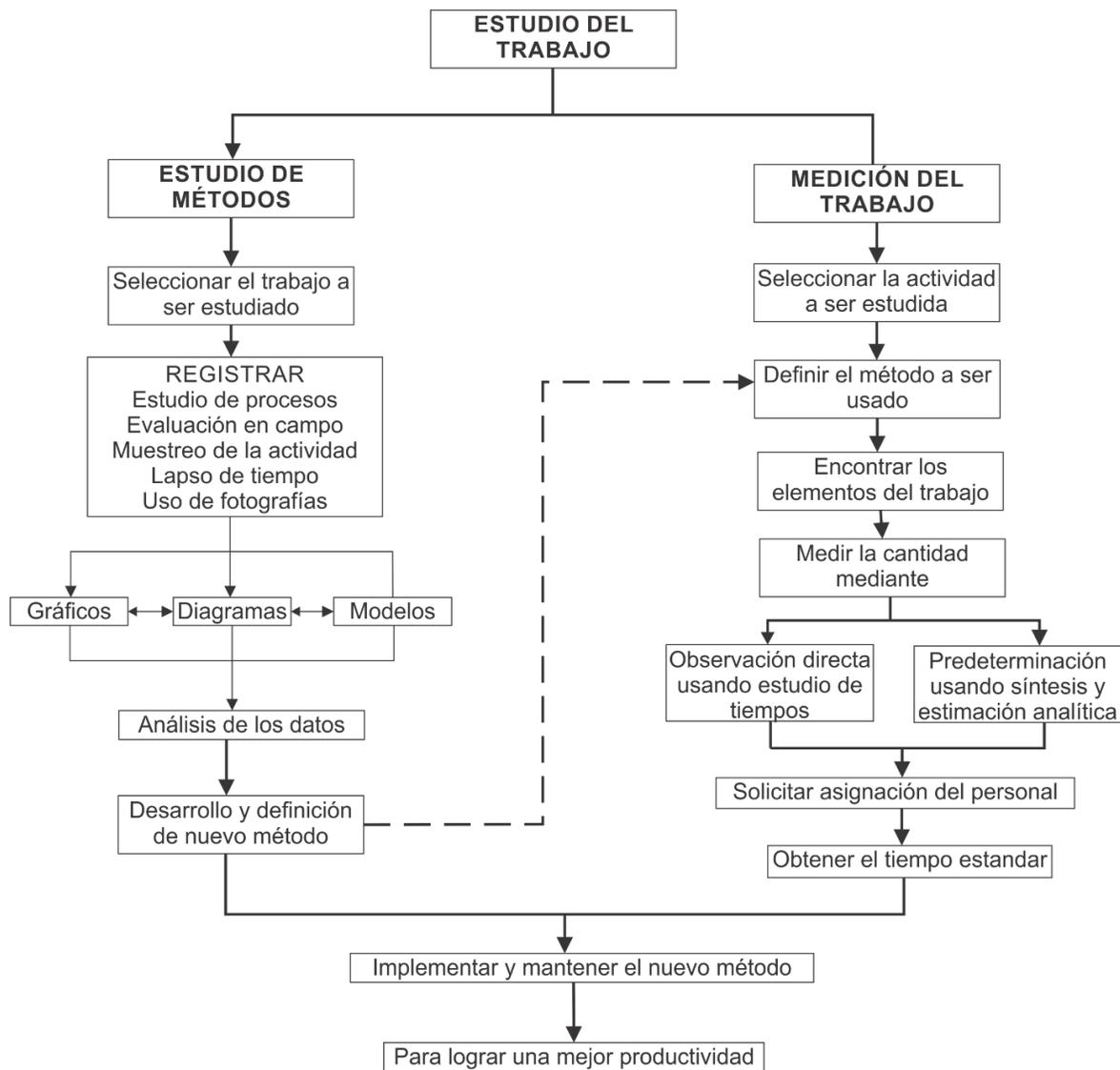


Figura 2. Proceso del estudio del trabajo. Adaptado (Drewin, 1985 citado en Thomas et al., 1990)

En la Figura 2 se puede observar que ambos procedimientos, el estudio de métodos de trabajo y la medición del trabajo, implican realizar un examen a fondo de los procesos de producción. Por lo tanto, la mejor manera de mejorar la productividad es estudiar la forma en que se realiza el trabajo, es decir, el método de trabajo. Los autores proponen técnicas de recolección de datos comúnmente utilizados para el estudio del trabajo, los cuales son: el uso de fotografías o vídeos, estudios con cronómetro, y el muestreo de trabajo. Las presentaciones típicas de resultados

incluyen gráficos de bandas y el equilibrio de la tripulación, diagramas de proceso, así como diagramas de flujo y materiales.<sup>62</sup>

### 2.3.4 Métodos para el análisis de datos de productividad laboral

Ibbs (2012) realizó una revisión y síntesis de la metodología de la milla medida (*measured mile* en inglés) desarrollada por Zink (1986), la cual se basa en las horas de trabajo reales de un proyecto, comparando la productividad durante un tiempo sin interrupciones. Zick (1986) propone los siguientes pasos para el cálculo de la productividad:<sup>63</sup>

- a. Trazar las horas de trabajo reales invertidos en un proyecto frente al porcentaje de trabajo completado (Horas de trabajo en la ordenada y el tiempo asociados con el porcentaje completado en la abscisa)
- b. Debido a que el primero y el último 10% son "acumulación" y "cola de espera" y no son representativos, se debe eliminar el primero y el último 10% y sólo tratar con el 80% intermedio.
- c. Identificar una porción lineal razonable cerca del 80% de la curva de trabajo, que muestre un segmento sin obstáculos, el cual define el tipo más eficaz de progreso. Esta será la milla media medida.

Por su parte, Thomas y Sanvido (2002) desarrollaron una metodología para el análisis y cálculo de la productividad en la industria de la construcción llamado método de línea base (*baseline method*). Debido a que las actividades de construcción pueden ser interrumpidas por diversos factores, el cálculo de la productividad no se debe tomar para periodos de tiempos continuos, ni solamente en periodos de tiempos discontinuos; en este sentido, debe ser es una relación entre ambos periodos de tiempo. Las etapas de cálculo se describen a continuación:<sup>64</sup>

---

<sup>62</sup> Ibid.

<sup>63</sup> William Ibbs, "Measured-mile principles," *Journal of Legal Affairs and Dispute Resolution in Engineering and Construction*, no. May (2012): 31–39.

<sup>64</sup> Randolph H. Thomas and Victor E. Sanvido, "Role of the fabricator in labor productivity," *Journal of Construction Engineering and Management* 2, no. October (2002): 358–65.

- a. Determinar el 10% de los días de trabajo del total.
- b. Identificar alrededor de este número al siguiente número impar más alto (no debe ser inferior a cinco). Este número  $n$  define el tamaño de (número de días en) el subconjunto de línea de base.
- c. El contenido del subconjunto de línea de base se seleccionan como los  $n$  días de trabajo que tienen la más alta producción diaria.
- d. Para estos días, tomar nota de la productividad diaria.
- e. La productividad de referencia es la mediana de los valores de productividad diarias en el subconjunto de línea de base.

Por otra parte, Ibbs y Liu (2005) desarrollaron una metodología llamada agrupación estadística (Statistical Clustering), para el análisis y cálculo de la productividad en proyectos de construcción. Estos autores abogaron por este método puesto que mencionan que la determinación del periodo de referencia se realiza utilizando criterios objetivos. La idea central del método de agrupación estadística es separar los datos en diferentes grupos con base en la similitud de las medidas. En otras palabras, todos los datos que integran un mismo grupo deben tener valores de productividad comparables. Los autores proponen los siguientes pasos como parte de este método:<sup>65</sup>

- a. Seleccionar los centros iniciales: se elige el valor máximo y mínimo de las productividades encontradas; estos valores se utilizan como los centros de conglomerados iniciales, lo cual permite que se dividan los grupos lo más ampliamente posible.
- b. Actualizar los centros iniciales en clústers: cada uno de los datos de productividad se asignan a la agrupación más cercana, para luego actualizar el valor medio de ese grupo. En el algoritmo K-means, la distancia entre un

---

<sup>65</sup> William Ibbs and Min Liu, "Improved measured mile analysis technique," *Journal of Construction Engineering and Management* 131, no. 12 (2005): 1249–56.

punto de datos y un centro de la agrupación se calcula como una distancia euclidiana.

- c. Asignación de casos al clúster más cercano: se repite el paso anterior hasta que no hayan más cambios en los grupos, es decir, cuando el número máximo de iteración se ha alcanzado.

Por último, Hassan y Gruber (2008) han utilizado la simulación para el estudio y análisis de la productividad con el objetivo de optimizar los recursos durante el curso de las actividades de construcción.<sup>66</sup>

## **2.4 Relación entre la organización del trabajo y la productividad laboral**

Cada proyecto de construcción se ve afectado directa o indirectamente por una amplia gama de factores. La pérdida de productividad del trabajador de la construcción se suele atribuir a varios factores; además, los factores que afectan la productividad del trabajo en la construcción son raramente independientes de los demás.<sup>67</sup>

Como se mencionó anteriormente, el tamaño y composición de la cuadrilla de trabajo en la industria de la construcción son parámetros de la organización del trabajo. Autores como Jarkas et al. (2012);<sup>68</sup> Chang et al. (2007);<sup>69</sup> Watkins et al. (2009);<sup>70</sup> Hassan et al. (2008);<sup>71</sup> Fayek et al. (2005);<sup>72</sup> Zakeri (1996);<sup>73</sup> han argumentado que

---

<sup>66</sup> Marwa M. Hassan and Stan Gruber, "Simulation of concrete paving operations on Interstate-74.," *Journal of Construction Engineering and Management* 134, no. 1 (2008): 2–9.

<sup>67</sup> Dai et al., "Latent structures of the factors affecting construction labor productivity." *Op cit.*

<sup>68</sup> Abdulaziz M. Jarkas and Camille G. Bitar, "Factors affecting construction labour productivity in kuwait," *Journal of Construction Engineering and Management* 138, no. July (2012): 811–20.

<sup>69</sup> Chul-Ki Chang et al., "Quantifying the impact of schedule compression on labor productivity for mechanical and sheet metal contractor," *Journal of Construction Engineering and Management* 133, no. 4 (2007): 287–96.

<sup>70</sup> Watkins et al., "Using agent-based modeling to study construction labor productivity as an emergent property of individual and crew interactions." *Op. cit.*

<sup>71</sup> Marwa M. Hassan and Stan Gruber, "Simulation of concrete paving operations on interstate-74.," *journal of construction engineering and management* 134, no. 1 (2008): 2–9.

el tamaño y composición de la cuadrilla son factores que afectan la productividad laboral en los proyectos de construcción.

Por otra parte, Gómez Cabrera et al. (2012) realizaron un análisis de balance de cuadrillas para establecer cuál era la productividad de los trabajadores en la actividad de amarre de acero en columnas, con el fin de identificar los tiempos productivos, contributivos y no contributivos de cada uno de los integrantes de la cuadrilla. El estudio contribuyó a tomar acciones que permitieron mejorar la productividad laboral en actividades de construcción.<sup>74</sup>

Christian y Hachey (1995) analizaron la tasa de productividad encontrada para diferentes casos de proyectos de construcción con características similares, en los cuales tomaron como variables independientes la localización del trabajo, el tamaño de la cuadrilla y el método de trabajo. Esto con el fin de calcular la tasa de productividad mediante el volumen de concreto colocado, la duración de la actividad y los retrasos encontrados en minutos.<sup>75</sup>

Gündüz et al. (2012) realizaron un estudio donde identificaron los principales factores que causan retrasos en los proyectos de construcción, para lo cual, los autores encontraron que el uso inapropiado de métodos de construcción como uno de los 83 factores que ocasionan baja productividad laboral, lo cual a su vez conlleva a retrasos en los proyectos de construcción.<sup>76</sup>

Agbulos et al. (2006) realizaron un estudio para la aplicación de la teoría de la producción ajustada y la simulación, donde utilizaron tanto el análisis del trabajo

---

<sup>72</sup> Aminah Robinson Fayek and Ayodele Oduba, "Predicting industrial construction labor productivity using fuzzy expert systems," *Journal of Construction Engineering and Management* 131, no. 8 (2005): 938–41. Op cit.

<sup>73</sup> Mahmood Zakeri et al., "A survey of constraints on iranian construction operatives' productivity," *construction management and economics* 14, no. January 2015 (1996): 417–26.

<sup>74</sup> Gómez Cabrera et al., "Mejoramiento de procesos constructivos a partir de un módulo programable para captura de imágenes y simulación digital." Op cit.

<sup>75</sup> John Christian and Daniel Hachey, "Effects of delay times on production rates in construction," *journal of construction engineering and management*, 1995.

<sup>76</sup> Gündüz, Nielsen, and Özdemir, "Quantification of delay factors using the relative importance index method for construction projects in turkey." Op cit.

como la medición del trabajo para desarrollar y mejorar los métodos de trabajo y los estándares de productividad en el mantenimiento de sistemas de drenaje.<sup>77</sup>

Dado lo anterior, se puede concluir que la falta de organización del trabajo, haciendo referencia al uso inapropiado de métodos de trabajo, así como la composición y tamaño inadecuado de las cuadrillas de trabajo, contribuye a una disminución de la productividad laboral en los proyectos de construcción.

## 2.5 Simulación de operaciones

Simulación de operaciones se refiere al modelado de un sistema de producción y la experimentación con el modelo resultante mediante el uso de la computación.<sup>78</sup> Al respecto, Yang et al. (2012) definen la simulación basada en la computación como el diseño de un modelo matemático lógico que representa un sistema en el mundo real y la experimentación con el modelo mediante una computadora.<sup>79</sup>

Según Azarang y Garcia (1998) existen diferentes tipos de modelos de simulación, tales como:<sup>80</sup>

- Modelos de simulación probabilísticos o estocásticos: los valores de las variables dentro de un modelo estocástico sufren modificaciones aleatorias con respecto a un valor promedio; dichas variaciones pueden ser manejadas mediante distribuciones de probabilidad.
- Modelos de simulación determinísticos: los valores de las variables no se ven afectados por variaciones aleatorias y se conocen con exactitud.

---

<sup>77</sup> Albert Agbulos et al., "Application of lean concepts and simulation analysis to improve efficiency of drainage operations maintenance crews," *Journal of Construction Engineering and Management* 132, no. 3 (2006): 291–99.

<sup>78</sup> S. AbouRizk et al., "Research in modeling and simulation for improving construction engineering operations," *Journal of Construction Engineering and Management* 137, no. 10 (2011): 843–52.

<sup>79</sup> Yang Zhang et al., "Design and implementation of loose-coupling visualization components in a distributed construction simulation environment with HLA," *Journal of Computing in Civil Engineering* 26, no. 2 (2012): 248–58.

<sup>80</sup> Mohammad Azarang and Eduardo Garcia, *Simulación y análisis de modelos estocásticos* (México: Mc Graw Hill, 1998).

- Modelos de simulación de eventos discretos: Las variables del sistema toman valores solo en el rango de números enteros.
- Modelos de simulación de eventos continuos: las variables pueden tomar valores reales y manejarse mediante las técnicas de optimización clásicas.
- Modelos de simulación estáticos: no se maneja la variable de tiempo, esto se debe a que el modelo representa a un sistema en un punto particular del tiempo.
- Modelos de simulación dinámicos: Las variables se caracterizan porque cambian en función del tiempo.

### **2.5.1 Simulación en el análisis de las operaciones de construcción**

AbouRizk et al. (2011) han argumentado que la simulación de operaciones de construcción ha utilizado predominantemente la simulación de eventos discretos para modelar operaciones de construcción utilizando componentes de modelado específicos. A través de los modelos creados se puede diseñar una operación utilizando un lenguaje de simulación para analizar el proceso en cuestión.<sup>81</sup>

Rojas y Mukherjee (2002) han reportado que la simulación en ingeniería forma parte de la categoría de simulaciones tácticas, que a su vez, se clasifican en tres categorías: diagnóstico, situacionales y de optimización. Las simulaciones de diagnóstico se enfocan en determinar la causa de un evento particular. Las simulaciones situacionales involucran la redistribución de recursos para minimizar un riesgo y por último, las simulaciones de optimización se basan en el manejo de datos en un esfuerzo por satisfacer metas, optimizar la distribución de los recursos disponibles basándose en algún tipo de modelo.<sup>82</sup>

---

<sup>81</sup> AbouRizk et al., "Research in modeling and simulation for improving construction engineering operations." Op cit.

<sup>82</sup> Eddy M. Rojas and Amlan Mukherjee, "Simulando el proceso de gestión de construcción," Revista Ingeniería de Construcción, 2002.

Fayek y Oduba (2005) realizaron un estudio acerca del proceso de construcción de tuberías mediante simulación. Los autores identificaron diversos factores que afectan la productividad; entre los factores asociados a la mano de obra y a la organización del trabajo se encontraron los siguientes: composición, y tamaño de la cuadrilla por actividad y total, congestión en el área de trabajo, nivel de habilidad y experiencia de los trabajadores y rotación de la cuadrilla.<sup>83</sup>

Song y AbouRizk (2008) hicieron uso de datos históricos y técnicas avanzadas de modelado para determinar cuáles son los factores que afectan negativamente la productividad en el habilitado de acero de refuerzo. Estos autores encontraron que el tamaño de la cuadrilla es uno de los 17 factores que más afectan la productividad en este tipo de actividades.<sup>84</sup>

Tavakoli (1985) ha mencionado que la simulación es uno de los métodos adecuados para el análisis de las operaciones de construcción; sin embargo, el autor describe tanto sus ventajas como sus desventajas. Como ventajas resalta que el desarrollo de un modelo de simulación permite examinar todos los elementos del sistema en detalle, para conducir a una mejor comprensión del sistema; además puede dar una idea de qué variables son importantes y cómo interactúan. Por lo tanto, el autor menciona que el usuario puede experimentar con diferentes estrategias sin el riesgo de perturbar el sistema real. Como desventajas, el autor menciona que la simulación no es una ciencia exacta. Otras desventajas podrían incluir costes excesivos, debido a que los parámetros del modelo pueden ser difíciles de recoger o determinar.<sup>85</sup>

---

<sup>83</sup> Aminah Robinson Fayek and Ayodele Oduba, "Predicting industrial construction labor productivity Using Fuzzy Expert Systems," *Journal of Construction Engineering and Management* 131, no. 8 (2005): 938–41.

<sup>84</sup> Linguang Song and Simaan M. AbouRizk, "Measuring and modeling labor productivity using historical data," *Journal of Construction Engineering and Management* 134, no. 10 (2008): 786–94.

<sup>85</sup> Amir Tavakoli, "Productivity analysis of construction operations," *Journal of Construction Engineering and Management* 111 (1985): 31–39.

Autores como AbouRizk y Wales (2013),<sup>86</sup> Gonzalez-Quevedo et al. (1993),<sup>87</sup> Senior y Halpin (1998),<sup>88</sup> Gómez Cabrera et al. (2012)<sup>89</sup>, Vanegas et al. (1993),<sup>90</sup> han utilizado modelos de simulación para el análisis de métodos constructivos.

Hassan y Gruver (2008) proponen que la simulación de eventos discretos es el enfoque más apropiado para modelar operaciones de construcción.<sup>91</sup> Los beneficios obtenidos por el uso de la simulación basada en computación para modelar las operaciones de construcción se deben a la interacción compleja entre las diversas unidades en el lugar de trabajo. La mayoría de las actividades de la construcción pueden ser modeladas eficientemente utilizando una simulación de eventos discretos ya que los eventos ocurren solo en puntos específicos del tiempo.<sup>92</sup>

La simulación de eventos discretos permite el modelado dinámico de un sistema a medida que evoluciona con el tiempo, por una representación en la que las variables de estado cambian instantáneamente en puntos separados en el tiempo.<sup>93</sup>

A su vez, Rabelo et al. (2005) mencionan que la simulación de eventos discretos tiene la ventaja de ser flexible y de que no necesita de las muchas suposiciones de simplificación como en la investigación de operaciones o la inteligencia artificial. La simulación de eventos discretos (DES) es el método de simulación más ampliamente utilizado en aplicaciones de fabricación. Se utiliza a menudo en la rama de producción para evaluar la planificación, enrutamiento y las alternativas de programación.<sup>94</sup>

---

<sup>86</sup> Simaan M. Abourizk and Rod J. Wales, "Combined discrete-event/continuous simulation for project planning," *Journal of Chemical Information and Modeling* 53, no. 9 (2013): 1689–99.

<sup>87</sup> Gonzalez-Quevedo et al., "Comparison of two simulation methodologies in construction." Op cit.

<sup>88</sup> Senior and Halpin, "Simplified simulation system for construction project." Op cit.

<sup>89</sup> Gómez Cabrera et al., "Mejoramiento de procesos constructivos a partir de un módulo programable para captura de imágenes y simulación digital." Op cit.

<sup>90</sup> Vanegas, Bravo, and Halpin, "Simulation technologies for planning heavy construction processes." Op cit.

<sup>91</sup> Hassan and Gruber, "Simulation of concrete paving operations on Interstate-74." Op cit.

<sup>92</sup> Ibid.

<sup>93</sup> Law and Kelton, *Simulation modeling and analysis*. Op cit.

<sup>94</sup> Luis Rabelo et al., "Enterprise simulation: a hybrid system approach," *International Journal of Computer Integrated Manufacturing* 18, no. 6 (2005): 498–508.

La DES puede describir los sistemas más complejos en cualquier nivel de detalle mientras se incluyan elementos estocásticos que no se pueden describir fácilmente por otros modelos analíticos. Permite realizar el seguimiento del estado de las entidades y los recursos individuales y estimar numerosas medidas de rendimiento en una amplia gama de condiciones de funcionamiento previstas.<sup>95</sup>

A continuación se explican los pasos propuestos por Martínez (2010) para la aplicación de la simulación de eventos discretos en el análisis de operaciones de construcción.<sup>96</sup>

- Establecer el alcance del modelo y las preguntas específicas que el modelo debe responder.
- Definir el modelo para la operación. Esto incluye establecer el nivel de detalle del modelo (recursos, actividades, y la captura de la lógica apropiada).
- Recoger y sintetizar los datos sobre la operación para adaptarse al modelo (determinar la distribución, y realizar prueba de bondad de ajuste).
- Verificación del modelo y los datos para asegurarse de que coincide con la comprensión del modelador del sistema.
- Validación del modelo para asegurarse de que coincida con el sistema real.
- Examinar los resultados del modelo de simulación obtenidos mediante una sola corrida.
- Diseño y ejecución de experimentos de simulación
- Analizar la salida de experimentos para determinar el desempeño con diversas configuraciones del sistema.
- Documentar y presentar los resultados.
- Utilizar los resultados para la toma de decisiones

---

<sup>95</sup> Ibid.

<sup>96</sup>Julio C. Martinez, "Methodology for conducting discrete-event simulation studies in construction engineering and management," *Journal of Construction Engineering and Management* 136, no. January (2010): 3–16.

Por su parte, Halpin (1992) ha implementado la simulación de operaciones con el desarrollo del programa CYCLONE (CYCLic Operations NETwork), herramienta que describe las operaciones de construcción mediante una red ensamblada de nodos y otros elementos necesarios para el correcto flujo de las entidades (actividades, contadores de ciclos, colas de estado pasivo o tiempo ocioso de los recursos, conectores).<sup>97</sup>

Adicionalmente, Hassan y Gruber (2008) describen las características del software STROBOSCOPE desarrollado por Martínez en el año 1996, el cual es una herramienta de simulación avanzada que puede determinar dinámicamente el estado de la simulación y las características de los recursos implicados en una operación de construcción. Este software fue diseñado específicamente para simular las operaciones de construcción y hace uso de los conceptos que se encuentran en lenguaje de consulta estructurado SQL para seleccionar los recursos a emplear en las operaciones y agregar sus propiedades.<sup>98</sup>

Del mismo modo, Hassan y Gruber (2008) han descrito las características del software EZStrobe, desarrollado por Martínez en el año 2001, el cual se basa en diagramas de ciclos de actividad y emplea un patrón trifásico de la actividad en exploración. Por tanto, es capaz de modelar sistemas moderadamente complejos, sin tener que escribir códigos avanzados. EZStrobe hace uso de elementos de modelado simples para representar la secuencia de actividades y sus interacciones. Los principales componentes del software EZStrobe son: la cola (recursos ociosos), Combi (actividad restringida por una cola, la cual sirve para el cálculo de la duración de la actividad mediante una distribución de probabilidad), Normal (actividad que no está restringida), Tenedor (elemento de enrutamiento probabilístico) y por último, un elementos de enlace (conecta una cola a un elemento Combi).<sup>99</sup>

---

<sup>97</sup> D. W. Halpin and L. S. Riggs, *Planning and analysis of construction operations* (New York: John Wiley & Sons, 1992).

<sup>98</sup> Hassan and Gruber, "Simulation of concrete paving operations on Interstate-74." Op cit.

<sup>99</sup> Ibid.

Otro desarrollo importante en el campo de la simulación de operaciones es el Symphony, el cual es un software basado en Microsoft Windows, que ha sido desarrollado para proporcionar un entorno estándar, coherente e inteligente útil en el desarrollo y uso de herramientas de construcción. Los desarrolladores de herramientas pueden utilizar Symphony para implementar herramientas de simulación altamente flexibles que faciliten el modelado gráfico, jerárquico, modular e integrado de un sistema. Los usuarios de las herramientas requieren de este único programa para construir modelos de simulación de una manera intuitiva y fácil. Los resultados pueden ser vistos como parte de la interfaz gráfica de usuario o exportados para su uso en sistemas externos, tales como programas de estimación y programación.<sup>100</sup>

Finalmente a nivel local, en su tesis de maestría Osorio Sandoval (2015) determinó el impacto del ausentismo de la mano de obra sobre el tiempo de ejecución de las actividades de construcción de vivienda en Mérida-Yucatán. Para el desarrollo de su investigación hizo uso de la simulación de eventos discretos, mediante software de simulación Symphony 4.0. Con su investigación comprobó que la DES es útil para analizar el efecto de los factores que afectan las operaciones de construcción, tales como el ausentismo de la mano de obra. A su vez, recomienda que para futuras investigaciones se utilice esta metodología para estudiar otros factores que retrasan las actividades de construcción.<sup>101</sup>

---

<sup>100</sup> Dany Hajjar and Simaan AbouRizk, "Symphony: An environment for building special purpose construction simulation tools," WSC'99. 1999 Winter Simulation Conference Proceedings. "Simulation - A Bridge to the Future" (Cat. No.99CH37038) 2 (1999): 998–1006.

<sup>101</sup> Carlos Arturo Osorio Sandoval, "Determinación del impacto del ausentismo de la mano de obra sobre el tiempo de ejecución de las actividades de construcción de vivienda" (Univerisad Autónoma de Yucatán, 2015).

## 2.6 Conclusión

De lo expuesto en este capítulo, se puede concluir que gran número de investigadores han estudiado la organización de los métodos de trabajo, concluyendo que la falta de organización tiene efectos negativos sobre la productividad de los proyectos de construcción. A su vez, diversos autores concluyen que la baja productividad laboral puede ocasionar problemas en el desempeño del proyecto.

En el contexto local no se han encontrado investigaciones que estudien el efecto que tiene la organización de la mano de obra en la productividad y el tiempo de ejecución de las actividades de construcción de vivienda. Por tal razón, la cuantificación del efecto organización y composición de las cuadrillas de trabajo resultará en un insumo valioso para la comprensión del problema y la evaluación de las diferentes propuestas de mejora.

Por su parte, muchas investigaciones reportan el uso de diferentes herramientas de simulación para el análisis y toma de decisiones en la industria de la construcción; de esta manera, se puede concluir que la simulación de eventos discretos proporciona una herramienta de fácil comprensión, uso y flexibilidad, lo cual logra simplificar el proceso de simulación mediante plataformas útiles y convenientes para el desarrollo de esta investigación.

## **3. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN**

### **3.1 Tipo, alcance y diseño de la investigación**

Esta investigación se enfocó en cuantificar el efecto que tiene la composición y organización de las cuadrillas de trabajo sobre la productividad y tiempo de ejecución de las actividades de construcción de vivienda, por lo que su desarrollo se abordó bajo un enfoque cuantitativo. Bajo esta premisa, se recolectaron datos numéricos que fueron procesados y analizados para responder a las preguntas de investigación y así lograr los objetivos establecidos para este proyecto.

A su vez, ésta investigación tuvo un alcance explicativo debido a que se enfocó en exponer por qué ocurre un fenómeno y en qué condiciones se manifiesta o por qué se relacionan dos o más variables. El tipo de investigación fue no experimental, ya que las variables involucradas fueron medidas sin alterar su estado natural, sino que simplemente se midieron tal y como se observan en el sitio de trabajo. La recolección de los datos se realizó en un cierto momento en el tiempo con el propósito de describir y analizar su relación en dicho momento, por lo que se consideró un estudio transeccional.

También se debe tener en cuenta que la productividad y tiempo de ejecución de las actividades de construcción se ven afectadas por un gran número de factores durante su ejecución, por lo que sería muy difícil medir de manera aislada el efecto que tienen las variables asociadas a la organización del trabajo sobre las variables de desempeño. Por lo anterior, se consideró pertinente apoyarse en técnicas de simulación que permitieran el análisis de las variables en un contexto virtual, en el que se pudiera experimentar con diferentes escenarios y determinar cuantitativamente dicho efecto.

De igual manera es importante recalcar que, para hacer uso de herramientas de simulación, fue necesaria la recolección de una gran cantidad de datos; es por ello que se consideró pertinente obtener los datos mediante la observación de proyectos de construcción de vivienda. Esto fue posible debido a que localmente se cuenta con

la disponibilidad de proyectos de construcción de este tipo; además la naturaleza repetitiva de este tipo de proyectos, permitió la recolección de suficientes datos durante el periodo disponible para la realización de la investigación.

### 3.2 Unidad de análisis y población

La unidad de análisis para esta investigación fueron las actividades que comúnmente se incluyen en la ejecución de construcciones habitacionales en la ciudad de Mérida-Yucatán. La población de estudio estuvo conformada por las actividades que incluye la construcción de las viviendas clasificadas dentro del rango “tradicionales” según el código de clasificación de vivienda para el año 2010 reportado por la CONAVI (Comisión Nacional de Vivienda).<sup>102</sup>

Para el año 2016, la CONAVI reportó el porcentaje de registro de vivienda por superficie más ofertada a nivel nacional; las viviendas más ofertadas estuvieron comprendidas para un VSMMDF de 119 a 350, con aproximadamente un 76% de la oferta total<sup>103</sup>, como se puede observar en la Figura 3.

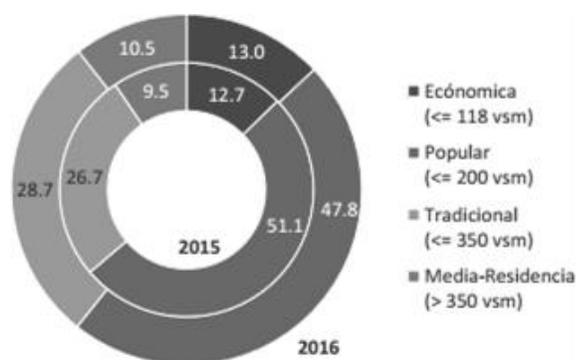


Figura 3. Porcentaje de oferta de vivienda según tipología. (CONAVI, 2016)

Por lo anterior, las viviendas estudiadas estuvieron comprendidas en un rango de metros cuadrados de construcción de entre 45 y 80 m<sup>2</sup>, lo que comprende a la

<sup>102</sup> CONAVI (Comisión Nacional de Vivienda), Código de edificación de vivienda (Estados Unidos Mexicanos 2010).

<sup>103</sup> SEDATU (Secretaría de desarrollo agrario territorial y Urbano), “Reporte Mensual Del Sector de La Vivienda” (Estados Unidos Mexicanos, 2016).

vivienda tradicional como se mencionó anteriormente.<sup>104</sup> A continuación se presenta la Tabla 1 referente a la clasificación de vivienda por precio promedio de acuerdo con el Código de Edificación de Vivienda de la CONAVI.

Tabla 1. Clasificación de vivienda por precio promedio. CONAVI 2010.

<b>Clasificación</b>	<b>Superficie construida</b>	<b>VSM MDF</b>	<b>Numero de cuartos</b>
Económica	20-40 m <sup>2</sup>	Hasta 118	Baño, cocina, área de usos múltiples
Popular	40-45 m <sup>2</sup>	De 118.1 a 200	Baño, cocina, estancia-comedor, 1 a 2 recámaras
Tradicional	45-80 m <sup>2</sup>	De 200.1 a 350	Baño, cocina, estancia-comedor, 2 a 3 recámaras
Mediana	80-115 m <sup>2</sup>	De 350.1 a 750	Baño, ½ baño, cocina, sala, comedor, 2 a 3 recámaras, cuarto de servicio
Residencial	115-175 m <sup>2</sup>	De 750.1 a 1500	De 3 a 5 baños, cocina, sala, comedor, 3 a 4 recámaras, cuarto de servicio, estancia familiar
Residencial plus	175-275 m <sup>2</sup>	Mayor de 1500	De 3 a 5 baños, cocina, sala, comedor, 3 o más recámaras, de 1 a 2 cuartos de servicio, estancia familiar

---

<sup>104</sup> CONAVI (Comisión Nacional de Vivienda), Código de edificación de vivienda. Op cit.

### 3.3 Procedimientos para el desarrollo del proyecto

En la Figura 4 se puede observar el diagrama de flujo correspondiente a los pasos metodológicos para el cumplimiento de los objetivos trazados.

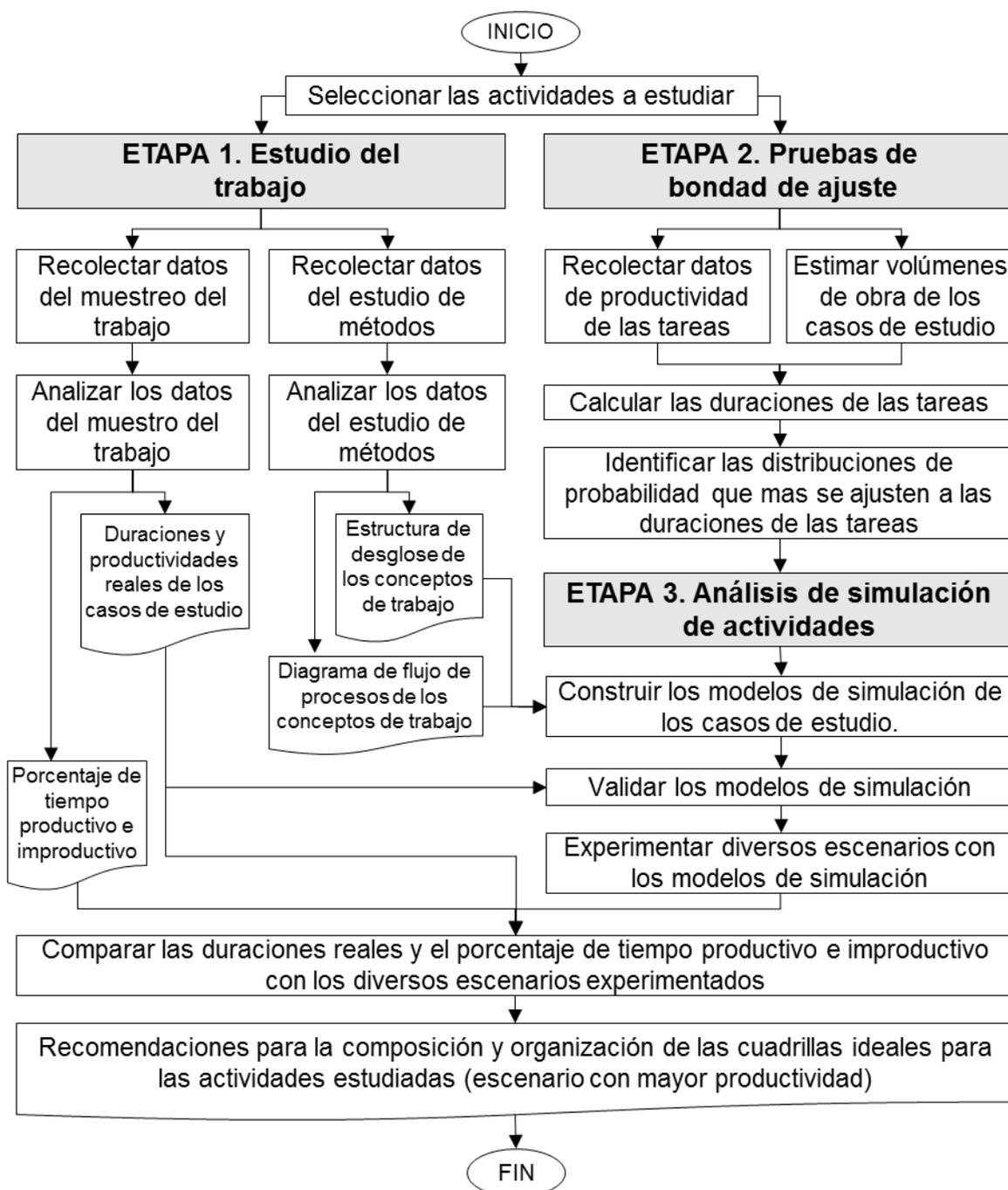


Figura 4. Diagrama de flujo de la metodología de investigación (Fuente propia)

### 3.3.1 Selección de las actividades a estudiar

Se seleccionaron las actividades más representativas de la construcción de vivienda, teniendo como criterio de selección las actividades que demandaran más tiempo en la ejecución de los proyectos. Para esto, se evaluaron tres programas de obra de proyectos de construcción de vivienda, donde se identificaron las actividades cuyo tiempo de ejecución tenían mayor impacto sobre el programa de obra del proyecto. Cabe aclarar que las actividades fueron agrupadas en conceptos de trabajo con el propósito de facilitar la recolección de los datos.

En la Tabla 2 se muestra la comparación del porcentaje de duración (duración del concepto de trabajo con respecto a la duración total del proyecto) que se realizó a tres programas de obra de proyectos de construcción de vivienda tradicional identificados por el número de metros cuadrados de construcción (proyecto 1 - 48.9 m<sup>2</sup>, proyecto 2 - 70.2 m<sup>2</sup> y proyecto 3 - 56.5 m<sup>2</sup>).

Tabla 2. Comparación de programas de obra para selección de las actividades

Concepto de trabajo	Actividades	Porcentaje de duración			Media
		P1	P2	P3	
Cimentación	Construcción de mampostería de piedra Construcción de dados Construcción de cadena de cimentación	19.2%	18.8%	18.9%	18.9%
Muro	Construcción de Muro de block Construcción de castillos armados Construcción de cerramientos Construcción de cadena de nivelación	38.5%	37.5%	37.7%	37.9%
Techo	Construcción de trabes Construcción de losa de azotea	23.1%	21.9%	22.6%	22.5%
Acabado superior de azotea	Elaboración de derretido Elaboración de calcreto	7.7%	9.4%	9.4%	8.8%
Acabado en muros	Elaboración de rich Elaboración de emparche Elaboración de estuco	11.5%	12.5%	11.3%	11.8%

Como se puede observar en la Tabla 2, la suma de los conceptos de trabajo Muro y Techo, representan aproximadamente el 60% del tiempo total de duración de obra negra en proyectos de construcción de vivienda (Muro – 37.9% y Techo – 22.5%) y

considerando el tiempo disponible para el desarrollo de esta investigación, las actividades que corresponden al concepto de trabajo Muro y las actividades que corresponden al concepto de trabajo Techo fueron las actividades seleccionadas para ser estudiadas en esta investigación.

Por su parte, el concepto de trabajo de Cimentación no fue considerado dentro del desarrollo de este estudio debido a que se observó una gran variabilidad en las condiciones del terreno y en los procesos constructivos que se llevaron a cabo en los proyectos seleccionados para la recolección de los datos. De igual forma, en cuanto a los conceptos de trabajo de Acabados (muros y azotea) no fueron considerados dentro del alcance de la investigación puesto que al seleccionar proyectos de diferente diseños arquitectónicos, estos presentaban gran variabilidad de materiales, diseños y procesos constructivos para la ejecución de los acabados, por lo cual, no fue posible realizar comparaciones entre las productividades.

Por su parte, el concepto de trabajo de Cimentación no fue considerado dentro del desarrollo de este estudio debido a que se observó una gran variabilidad en las condiciones del terreno y en los procesos constructivos que se llevaron a cabo en los proyectos seleccionados para la recolección de los datos.

Cabe aclarar que sólo se consideraron las actividades de obra negra, es decir aquellas en las cuales las cuadrillas estuvieran compuestas por oficiales de albañilería y ayudantes. Por tal razón, en este estudio no se consideraron las cuadrillas especializadas en actividades de instalaciones, cancelería, carpintería, entre otras.

### **3.3.2 Descripción de los casos de estudio**

A continuación se describen las características de los dos casos de estudio para cada uno de los conceptos de trabajo seleccionados.

#### **3.3.2.1 Concepto de trabajo Muro – Caso 1**

Se estudió el concepto de trabajo Muro en una vivienda tradicional compuesta por una sala, comedor, cocina, un baño y una recámara, la superficie construida

corresponde a 68.93 m<sup>2</sup> de construcción, con una altura de muro de 2.7 metros. Las actividades correspondientes al concepto de trabajo fueron la construcción del muro de block, castillos armados, cerramientos y cadena de nivelación. A continuación, se describen las características de los elementos correspondientes a cada actividad:

- Bloques de concreto con sección 15X20X40 cm, con un peso de 12 kg/pieza.
- Castillo de concreto armado de sección 15X15 cm.
- Cerramientos de concreto con sección 15X20 cm, reforzado con armex 15-20-4.
- Cadena de nivelación de concreto con sección de 15X12 cm, reforzada con armex 15-15-4.

Cabe aclarar que la tarea de colocación del acero de refuerzo (armex) en la actividad de castillo armado, no fue considerada, debido a que era una tarea que correspondía al concepto de trabajo Cimentación, en donde se dejaba anclado el refuerzo desde la cadena de cimentación antes del iniciar la ejecución del concepto de Muro.

En cuanto a la gestión de los materiales se detectaron las siguientes características: los materiales pétreos se encontraban aproximadamente a 10 metros de distancia de donde se realizó el concepto de trabajo, los bloques de concreto estaban apilados en frente de cada lote, por lo cual el acarreo de estos no fue mayor a 8 metros. En cuanto a los materiales cementantes se observó que se almacenaban en una bodega ubicada a 50 metros de la construcción de la vivienda; sin embargo, al iniciar la jornada laboral, había un trabajador encargado de acarrear los sacos necesarios para cada cuadrilla de trabajo mediante un mini cargador o Bobcat.

Los trabajos estaban asignados a una cuadrilla compuesta por 2 trabajadores oficiales; sin embargo, al principio de la ejecución del concepto de trabajo solo inició uno de los oficiales albañiles, mientras que el segundo oficial albañil se integró aproximadamente en la mitad de la ejecución del concepto de trabajo.

### **3.3.2.2 Concepto de trabajo Muro – Caso 2**

De igual forma, se estudió el concepto de trabajo Muro en la construcción de una vivienda tradicional compuesta por una sala, comedor, cocina, un baño; de 52.25 m<sup>2</sup> de superficie construida, con una altura de muro de 2.65 m. Las actividades correspondientes al concepto de trabajo fueron la construcción del muro de block, castillos armados, cerramientos y cadena de nivelación. A continuación, se describen las características de los elementos correspondientes a cada actividad:

- Bloques de concreto con sección 15X20X40 cm, con un peso de 12 kg/pieza.
- Castillo de concreto armado de sección 15X15 cm.
- Cerramientos de concreto con sección 15X20 cm, reforzado con armex 15-20-4.
- Cadena de nivelación de concreto con sección de 15X12 cm, reforzada con armex 15-15-4.

No se consideró dentro del concepto de trabajo Muro la tarea de colocación del acero de refuerzo (armex) en la actividad de castillo armado, debido a que era parte del concepto de trabajo Cimentación, en donde se dejaba anclado el refuerzo desde la cadena de cimentación antes del iniciar la ejecución del concepto de Muro.

Los materiales pétreos se encontraban aproximadamente a 7 metros de distancia de donde se realizó el concepto de trabajo; los bloques de concreto estaban apilados en frente del lote, por lo cual el acarreo de éstos no fue mayor a 8 metros. En cuanto a los materiales cementantes, se almacenaban a 7 metros de la construcción de la vivienda. Los trabajos estaban asignados a una cuadrilla compuesta por 1 trabajador oficial albañil, quien fue el encargado de realizar todas las actividades del concepto de trabajo.

### **3.3.2.3 Concepto de trabajo Techo – Caso 1**

Se estudió el concepto de trabajo Techo en la construcción de una vivienda tradicional conformada con una sala comedor, cocina, un baño y una recámara, de 68.93 m<sup>2</sup> de construcción. Las actividades correspondientes al concepto de trabajo

de Techo fueron la construcción de las trabes de concreto y la construcción de una losa tipo de vigueta y bovedilla. A continuación, se describe con las características correspondientes a cada elemento utilizado:

- Trabe armada de sección 30X20 cm amada con 4 varillas de 3/8 y estribos a cada 10 cm con varilla de 1/4
- Vigueta 12-4
- Bovedilla 15X25X60 cm
- Varilla de 3/8 para refuerzo perimetral de losa
- Malla electro-soldada de 6"X6"- 10/10
- Espesor de la capa de compresión de 5 cm

En cuanto a la gestión de los materiales se observó lo siguiente: los materiales pétreos se encontraban aproximadamente a 15 metros de distancia de donde se realizó el concepto de trabajo; los elementos prefabricados (viguetas y bovedillas) se encontraban apilados a 30 metros de distancia del lote donde se realizaba la construcción, por lo cual, la cuadrilla de trabajo, era la encargada de realizar el acarreo de los elementos. En cuanto a los materiales cementantes se observó que se almacenaban en una bodega ubicada a 50 metros de la construcción de la vivienda, sin embargo, al iniciar la jornada laboral, había un trabajador encargado de acarrear los sacos necesarios para cada cuadrilla de trabajo mediante un mini cargador o Bobcat.

Los trabajos estaban asignados a una cuadrilla compuesta por 2 trabajadores oficiales albañiles, quien fueron los encargados de la construcción de las actividades correspondientes al concepto de trabajo Techo.

#### **3.3.2.4 Concepto de trabajo Techo – Caso 2**

Se estudió una vivienda tradicional con sala, comedor, cocina, un baño y una recámara, de 53.84 m<sup>2</sup> de construcción, con las siguientes secciones por elemento, correspondientes al concepto de trabajo Techo:

- Trabe armada de sección 30X20 cm armada con 4 varillas de 3/8 y estribos a cada 10 cm con varilla de 1/4
- Vigueta 12-3
- Bovedilla 15X25X56 cm
- Varilla de 3/8 para refuerzo perimetral de losa
- Malla electro-soldada de 6" X 6"- 10/10
- Espesor de la capa de compresión de 5 cm

Los materiales pétreos se encontraban aproximadamente a 7 metros de distancia de donde se realizó el concepto de trabajo; los elementos prefabricados (viguetas y bovedillas) estaban apilados en frente del lote, por lo cual el acarreo de éstos no fue mayor a 7 metros. En cuanto a los materiales cementantes, se almacenaban a 5 metros de la construcción de la vivienda. Los trabajos estaban asignados a una cuadrilla compuesta por 1 trabajador oficial albañil y 1 ayudante o peón, quienes fueron los encargados de la construcción de las actividades correspondientes al concepto de trabajo Techo.

### **3.3.3 ETAPA 1. Estudio del trabajo**

Para la identificación de la organización y composición que comúnmente utilizan las cuadrillas en la ejecución de las actividades de construcción, se realizó un estudio del trabajo mediante el muestreo de dos casos de estudio. Para esto, se analizaron dos cuadrillas de trabajo durante la ejecución de las actividades de construcción en dos diferentes proyectos de construcción de vivienda, con el fin de recopilar la información de campo de cómo realizan el trabajo las diferentes cuadrillas en condiciones naturales.

Para el estudio del trabajo se utilizaron las metodologías propuestas por March (2009),<sup>105</sup> en donde se realizó un estudio de métodos y posteriormente un estudio de muestreo del trabajo (ver Figura 1). Para el muestreo del trabajo se hizo uso de la

---

<sup>105</sup> March, Operation management for construction. Op cit.

clasificación de tiempos productivos y tiempos improductivos propuesta por Thomas et al. (1990),<sup>106</sup> descritas previamente en el capítulo de la revisión de la literatura. (ver apartado 2.3.3 Metodología del estudio del trabajo)

### 3.3.3.1 Estudio de métodos

Mediante observación en campo se realizó el estudio de métodos. Primero se identificaron qué tareas componen cada actividad de los conceptos de trabajo estudiados; esto con el fin de facilitar la recolección de los datos y poder describir a detalle cada una de las actividades a ser estudiadas.

Para esto, se consideró pertinente realizar una estructura de desglose de los trabajos que permitiera visualizar claramente la estructura jerárquica entre los conceptos de trabajo, actividades y tareas, como se puede observar en el esquema propuesto en la Figura 5.

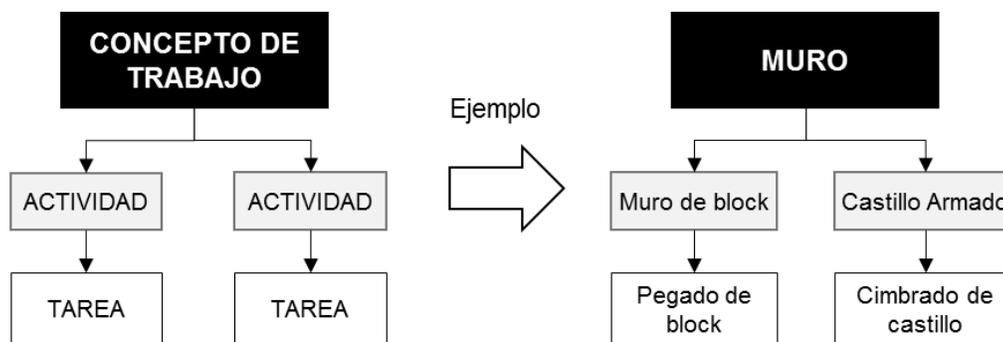


Figura 5. Esquema para el desglose de los conceptos de trabajo en actividades y tareas. (Fuente propia)

Cabe aclarar que, durante el desarrollo de este proyecto, se entiende como tarea al conjunto de miniprocesos que se deben realizar para la ejecución de una actividad. De igual manera, se entiende como concepto de trabajo a la agrupación de actividades para completar ese paquete de trabajo

<sup>106</sup> Randolph Thomas et al., "Modeling construction labor productivity." Op cit.

Una vez identificada la estructura de desglose de los trabajos, se procedió a identificar el método de trabajo que utilizan las cuadrillas en la ejecución de las actividades de construcción de vivienda. Para esto, se construyó la Tabla 3, que representa la propuesta de símbolos que permitió recopilar la información en campo del método de trabajo que utilizan comúnmente las cuadrillas de trabajo.

Posteriormente, se realizó el análisis de los datos recolectados en campo. Éstos se ordenaron y sintetizaron de tal manera que se facilitó la elaboración de los diagramas de flujo de los procesos correspondientes al método de trabajo encontrado, para cada uno de los conceptos de trabajo estudiados.

Tabla 3. Simbología para la realización de los diagramas de flujo de proceso

SÍMBOLO	DESCRIPCIÓN
	Tareas en las cuales se realiza trabajo contributivo, es decir, no hay un avance real de la actividad, pero son necesarias para la ejecución del trabajo directo.
	Tareas de transporte, en las cuales, no se realiza trabajo directo, sin embargo, son necesarias puesto que contribuyen a las tareas de trabajo directo.
	Tareas en las cuales se realiza una inspección o verificación.
	Tareas en las cuales se realiza trabajo directo, es decir, hay un avance real de la actividad y además necesita de inspección y verificación por parte del mismo trabajador.
	Tareas ficticias, es decir, solo representan un tiempo de espera.
	Sirven para identificar el flujo entre las tareas para la ejecución de una actividad.
	Sirven para identificar el inicio del concepto de trabajo
	Denotan el fin del concepto de trabajo

### 3.3.3.2 Muestreo del trabajo

Para la recolección de los datos del muestreo del trabajo, se adoptó la clasificación de tiempos productivos y tiempos improductivos propuesta por Thomas et al. (1984),<sup>107</sup> descrita previamente en el capítulo de la revisión de la literatura. (Ver apartado 2.3.2 Métodos para medir la productividad laboral).

El muestreo del trabajo se realizó diariamente durante la ejecución de las actividades estudiadas; se observó a cada tipo de trabajador que compone la cuadrilla de trabajo. Las observaciones para el muestreo del trabajo se realizaron de forma aleatoria para los dos casos de estudio.

Primero se realizó un muestreo piloto para determinar la cantidad de observaciones necesarias diariamente. Para ello, se tomaron treinta observaciones aleatorias durante las ocho horas correspondientes a una jornada de trabajo. No se consideró dentro del muestreo la hora de almuerzo de los trabajadores (de 1:00 a 2:00 pm). Luego se analizaron los datos, donde se obtuvo el porcentaje de tiempo productivo ( $p$ ) y el porcentaje de tiempo improductivo ( $q$ ) de la cuadrilla de trabajo, los cuales se presentan en la Tabla 4.

Tabla 4. Porcentaje de tiempo productivo e improductivo del muestreo piloto.

RESULTADOS MUESTREO PILOTO	Cuadrilla de Trabajo		Promedio de la cuadrilla
	Oficial 1	Oficial 2	
Porcentaje de tiempo productivo	88.2%	70.6%	79.4%
Porcentaje de tiempo improductivo	11.8%	29.4%	20.6%

Una vez calculados los porcentajes de tiempo productivo e improductivo de la cuadrilla de trabajo, se procedió determinar el nivel de confianza y con base en este, se calculó el tamaño de las observaciones mediante la Ecuación 1<sup>108</sup>, correspondiente al tamaño de muestra con ampliación tipificada.

<sup>107</sup> Thomas, Guevara, and Gustenhoven, "Improving productivity estimates by work sampling." Op cit.

<sup>108</sup> Niebel, Ingeniería Industrial: Métodos, tiempos y movimientos. Op cit.

$$\text{Nivel de confianza} = 1 - \alpha ;$$

$$\text{Error máximo} = 1 - \frac{\alpha}{2} ;$$

$$\text{Tamaño de la muestra } n = \frac{z^2 p q}{l^2} \quad \text{Ecuación 1.}$$

Donde  $\alpha$  es el error,  $z$  es el valor correspondiente al error máximo esperado,  $p$  es el porcentaje de tiempo productivo,  $q$  es el porcentaje de tiempo improductivo,  $l$  es el límite de error permitido.

Se propuso un nivel de confianza de 95%, que corresponde a un valor de  $Z$  (Tabla de la normal) de 1.96 y un límite de error permitido de 5%. Adicionalmente, conociendo el porcentaje de tiempo productivo ( $p$ ) 79.4% y el porcentaje de tiempo improductivo ( $q$ ) 20.6%, se procedió a encontrar el tamaño de las observaciones aplicando la Ecuación 1, en donde se encontró que la cantidad de observaciones necesarias para cada concepto de trabajo es de 251 observaciones. Las observaciones se dividieron entre los cinco días laborales correspondientes a una semana de trabajo, debido a que era el tiempo planeado para la ejecución de los conceptos de trabajo de acuerdo con los administradores de los proyectos estudiados. A partir de esta información se obtuvo que 50 observaciones era la cantidad que se debían realizar en una jornada de trabajo.

Una vez calculado el tamaño de la muestra diaria, se procedió a realizar una tabla de horarios aleatorios entre las 8:00 am y las 5:00 pm correspondiente al horario laboral de lunes a viernes, sin considerar dentro de las observaciones el horario de 1:00 pm a 2:00 pm que corresponde al horario de almuerzo de los trabajadores. En la Tabla 5 se muestran los horarios aleatorios propuestos para las 50 observaciones programadas para un día de trabajo.

Tabla 5. Tabla de horarios aleatorios para el muestreo del trabajo

<b>TABLA DE OBSERVACIONES ALEATORIAS</b>									
<b>HORARIO</b>									
<b>1</b>	8:00:00 a. m.	<b>11</b>	9:45:00 a. m.	<b>21</b>	11:20:00 a. m.	<b>31</b>	1:00:00 p. m.	<b>41</b>	3:35:00 p. m.
<b>2</b>	8:10:00 a. m.	<b>12</b>	9:50:00 a. m.	<b>22</b>	11:25:00 a. m.	<b>32</b>	2:10:00 p. m.	<b>42</b>	3:40:00 p. m.
<b>3</b>	8:25:00 a. m.	<b>13</b>	10:00:00 a. m.	<b>23</b>	11:40:00 a. m.	<b>33</b>	2:15:00 p. m.	<b>43</b>	3:50:00 p. m.
<b>4</b>	8:30:00 a. m.	<b>14</b>	10:05:00 a. m.	<b>24</b>	11:50:00 a. m.	<b>34</b>	2:20:00 p. m.	<b>44</b>	4:00:00 p. m.
<b>5</b>	8:40:00 a. m.	<b>15</b>	10:20:00 a. m.	<b>25</b>	12:05:00 p. m.	<b>35</b>	2:30:00 p. m.	<b>45</b>	4:15:00 p. m.
<b>6</b>	8:55:00 a. m.	<b>16</b>	10:30:00 a. m.	<b>26</b>	12:10:00 p. m.	<b>36</b>	2:40:00 p. m.	<b>46</b>	4:20:00 p. m.
<b>7</b>	9:00:00 a. m.	<b>17</b>	10:40:00 a. m.	<b>27</b>	12:25:00 p. m.	<b>37</b>	2:45:00 p. m.	<b>47</b>	4:30:00 p. m.
<b>8</b>	9:10:00 a. m.	<b>18</b>	10:50:00 a. m.	<b>28</b>	12:30:00 p. m.	<b>38</b>	3:00:00 p. m.	<b>48</b>	4:45:00 p. m.
<b>9</b>	9:20:00 a. m.	<b>19</b>	11:05:00 a. m.	<b>29</b>	12:40:00 p. m.	<b>39</b>	3:10:00 p. m.	<b>49</b>	4:50:00 p. m.
<b>10</b>	9:30:00 a. m.	<b>20</b>	11:10:00 a. m.	<b>30</b>	12:50:00 p. m.	<b>40</b>	3:20:00 p. m.	<b>50</b>	5:00:00 p. m.

En los días en los que los trabajadores comenzaron más tarde la jornada (después de las 8:00 am) o la terminaron de manera anticipada (antes de las 5:00 pm), no fue posible realizar todas las 50 observaciones programadas. Cabe aclarar que, para el cálculo de los porcentajes de tiempos productivos e improductivos, solamente se consideró el número de observaciones aleatorias que realmente se realizaron durante las jornadas de trabajo observadas.

De igual manera, para las actividades cuya duración fue menor a los cinco días propuestos para el muestreo, no fue posible la recolección de los 250 datos propuestos; sin embargo, los tiempos productivos e improductivos fueron calculados sobre la sumatoria total de las observaciones realizadas para cada actividad.

Finalmente, para recopilar los tiempos productivos e improductivos de la mano de obra en la ejecución de las actividades estudiadas se utilizó el formato que se muestra en la Tabla 6, el cual representa un formato sin diligenciar para la toma de datos, en donde, se debía marcar con una "x" el tipo de actividad que estuviera realizando el trabajador en los horarios aleatorios establecidos.

Los datos recolectados, se tabularon y sintetizaron, obteniendo así, el porcentaje de tiempo productivo e improductivo para cada concepto de trabajo; de igual manera, se registró el horario efectivo de trabajo de la cuadrilla y la cantidad de horas hombre invertidas en la ejecución del concepto de trabajo para los dos casos de estudio.

Tabla 6. Formato para la recolección de los datos del muestreo del trabajo

Caso:		Trabajador:	Observaciones				
CLASIFICACIÓN			1	2	3	...	50
Tiempo productivo	Directo	Trabajo directo					
	Indirecto	Acarreo de Material					
		Acarreo de herramientas					
		Preparación de mezcla					
		Recibiendo instrucciones					
		Andamios					
		Cimbras					
Tiempo improductivo	Espera	Instrucciones					
		Material					
		Herramienta o equipo					
		Miembro de la cuadrilla					
		Supervisión					
	Personal	Necesidades Fisiológicas					
		Descanso justificado					
		Ocio en la obra					
	Retorno vacío						
	No se encontró al trabajador						
	Retrabajos						

Los datos del muestreo del trabajo serán de utilidad para poder comparar las mediciones reales de tiempos productivos e improductivos para cada actividad, contra las estimaciones obtenidas mediante los modelos de simulación. De esta manera, se podrá determinar si existe una mejora significativa entre las estimaciones y los resultados reales.

### 3.3.4 ETAPA 2. Pruebas de bondad de ajuste

Para realizar el análisis de simulación que permitiera estimar el efecto que tiene la composición y organización de las cuadrillas de trabajo sobre la productividad de las actividades de construcción de vivienda, se hizo uso de los datos obtenidos en el estudio del trabajo descrito anteriormente, es decir, se utilizaron las mismas actividades seleccionadas para ser modeladas en el software de simulación. Primero se realizó la recolección de los datos de productividad de las tareas, seguido del cálculo de la duración de las tareas, y finalmente la identificación de la distribución de

probabilidad que más se ajusta a la duración de las mismas; a continuación, se explica claramente el procedimiento de cada una de ellas.

### **3.3.4.1 Recolección de los datos de productividad de las tareas**

Se recolectaron los datos de productividad para cada una de las tareas que componen las actividades presentes en los conceptos de trabajo mediante la observación directa en campo de diversos proyectos de construcción. Para esto, se construyeron diferentes formatos para la recolección de los datos de productividad de cada una de las tareas dependiendo de las categorías necesarias para el cálculo de la productividad (distancia, cantidad de trabajadores, método, cantidad de elementos, unidad, entre otros).

La Tabla 7 se presenta como ejemplo de la recolección de productividades de la tarea de “pegado y nivelación de bloques”. Para esto, se apuntaba la hora de inicio de la tarea y se observaba la ejecución de la misma hasta que el trabajador interrumpiera la ejecución de la tarea. Este instante correspondía a la hora de término de la tarea; seguido de esto, se calculaba la cantidad de trabajo realizado entre la hora de inicio y la hora de término de la observación. Finalmente, se calculó el total de tiempo empleado en la ejecución de la tarea y el volumen de trabajo ejecutado; para el primer registro de la Tabla 6, la cantidad de trabajo ejecutado fue de 5 bloques, con una duración de 7 minutos. Con estos datos, fue posible calcular la productividad mediante el cociente entre la cantidad de bloques y el total de tiempo (5 bloques/7minutos); en este ejemplo la productividad sería 0.71 bloques/minuto.

Tabla 7. Formato para la recolección de datos de productividad de la tarea Pegado y nivelación de block.

<b>Formato para la recolección de datos de productividad de las tareas</b>					
Proyecto:					Fecha:
Tarea:	<b>Pegado y nivelación de bloques</b>				
Cantidad de trabajadores	Cantidad de bloques	Hora de comienzo	Hora de término	Total Tiempo (minutos)	Observaciones (condiciones del trabajo)
1	5	10:15	10:22	7	
1	10	11:40	12:02	22	
1	1	12:30	12:32	2	

Cabe aclarar que se recolectó un mínimo de 30 datos de productividad por cada una de las tareas estudiadas; adicionalmente, en la tesis realizada por Osorio (2015),<sup>109</sup> se recolectaron de igual manera datos de productividad en proyectos de construcción de vivienda en Mérida, por lo cual se compararon las tareas identificadas en cada una de las investigaciones y en aquellas que fueron igual, se consideraron como un insumo que de gran utilidad para complementar los datos recolectados en esta investigación y poder alimentar el modelo de simulación obteniendo una aproximación más cercana a la realidad.

### 3.3.4.2 Cálculo de las duraciones de las tareas en los casos de estudio

Para el cálculo de las duraciones de las tareas en los casos de estudio, es necesario tomar como insumo los volúmenes de obra de las actividades. Para esto se realizó una revisión de los planos de los proyectos seleccionados, en donde se procedió a calcular el volumen de cada una de estas actividades.

Una vez se calculados los volúmenes de obra de los casos de estudio, se procedió a calcular una posible duración para completar cada tarea, mediante el uso de los datos de productividad por tarea y los volúmenes encontrados. Se propone utilizar la Ecuación 2.<sup>110</sup>

$$D = \frac{Q}{P*N} \quad \text{Ecuación 2.}$$

Donde  $D$  es la duración de la tarea en cada caso de estudio,  $Q$  es el volumen de obra de la tarea para cada caso de estudio,  $P$  es la productividad de la tarea y  $N$  es el número de recursos de mano de obra asignados a la tarea.

Aplicando como ejemplo la Ecuación 2 en la tarea de colado del castillo correspondiente al concepto de trabajo de Muro considerando un volumen de obra

---

<sup>109</sup> Osorio Sandoval, "Determinación del impacto del ausentismo de la mano de obra sobre el tiempo de ejecución de las actividades de construcción de vivienda." Op cit.

<sup>110</sup> Project Management Institute, A guide to the project management body of knowledge, Third Edit (Newtown Square, Pennsylvania, Estados Unidos: PMBOK® Guide., 2004).

de 0.0596 m<sup>3</sup> de concreto (Q) en la ejecución de un colado de castillo, con el dato de productividad de 0.007 m<sup>3</sup>/min (P) y ejecutado por 1 solo trabajador (N); se obtuvo la siguiente duración:

$$D1 \text{ colado castillo} = \frac{0.0596 \text{ m}^3}{0.007 \frac{\text{m}^3}{\text{min}} * 1 \text{ trabajador}} = 8.4840 \text{ min/trabajador}$$

El cálculo de la duración de cada tarea fue realizado para cada una de las tomas de datos de productividad recolectadas, es decir, si en la tarea de colado de castillo se recolectaron 100 observaciones de productividad, por consiguiente se obtuvieron 100 datos de duración de la tarea.

### **3.3.4.3 Identificación de la distribución de probabilidad de las duraciones de las tareas de los casos de estudio**

Se procedió a obtener la distribución de probabilidad que más se ajuste a los datos encontrados de las duraciones para cada tarea de los casos de estudio. Para esto, se utilizó del software EasyFit, el cual permite seleccionar la distribución de probabilidad que mejor se ajuste a un conjunto de datos utilizando las pruebas de bondad de ajuste. El programa EasyFit permite comparar los datos obtenidos con 61 diferentes distribuciones de probabilidad simultáneamente, por medio de la prueba de Kolmogorov-Smirnov, Anderson-Darling y Chi- Cuadrada. Este mismo software fue el encargado de calcular los parámetros correspondientes a la distribución a la que se ajustaron los resultados.

Los parámetros encontrados de las distribuciones de duración de las tareas estudiadas fueron la información necesaria para alimentar los modelos de simulación. Sin embargo, cabe aclarar que el software de simulación Simphony solo cuenta con 23 diferentes distribuciones de probabilidad para alimentar los datos del modelo, mientras que el software estadístico Easyfit cuenta con 61 diferentes distribuciones. Por lo anterior, fue necesario identificar cual era la distribución de probabilidad que más se ajustaba a los datos y que se encontrara entre las 23 distribuciones presentes en el software de simulación.

A continuación, se describe brevemente el procedimiento realizado para obtener la distribución de probabilidad que más se ajustó a cada una de las tareas estudiadas. Para esto se presenta como ejemplo el análisis de las duraciones de la tarea de “colado de castillos” de la actividad de castillo armado, que forma parte del concepto de trabajo de Muro.

Procedimiento:

1. Se selecciona la opción “Nueva tabla”, se introduce el listado de datos de las duraciones de la tarea a ser analizada y se le coloca el nombre correspondiente a la tarea. (Ver Figura 6)

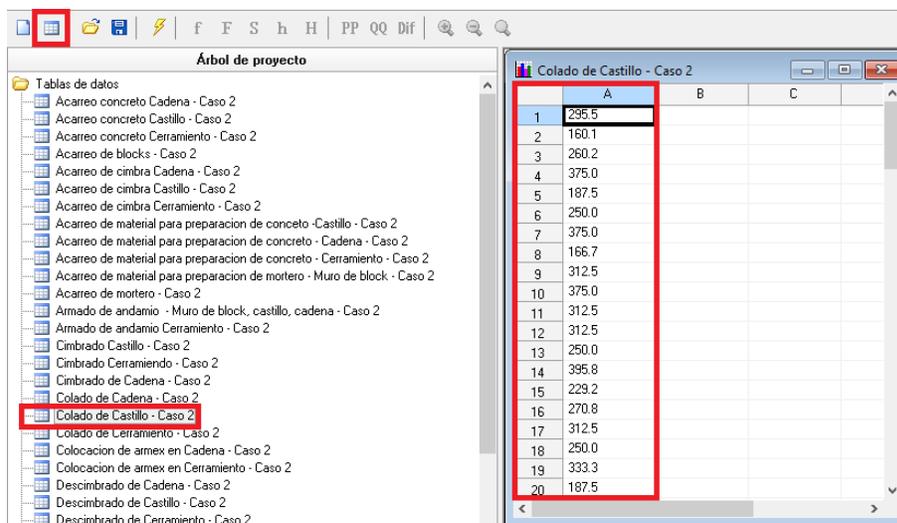


Figura 6. Ejemplo de ingreso de datos en el software Easyfit

2. Se selecciona la opción de “Ajustar distribución”, proporcionándole como datos de entrada el nombre de la tarea que se desea analizar. (Ver Figura 7)

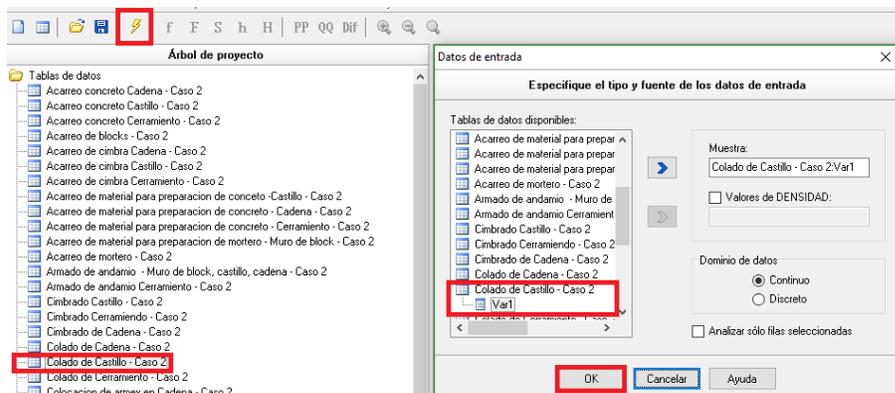


Figura 7. Ejemplo de ajuste de distribución en el software Easyfit

3. En la pestaña de “Bondad de ajuste” se despliegan las diferentes distribuciones de probabilidad; seguido de esto, se identifica cual es la distribución que se ajusta más a los datos con relación al número de rango en que se posiciona para las tres pruebas de bondad de ajuste (Kolmogorov Smirnov, Anderson Darling y Chi-cuadrado). (Ver Figura 8)

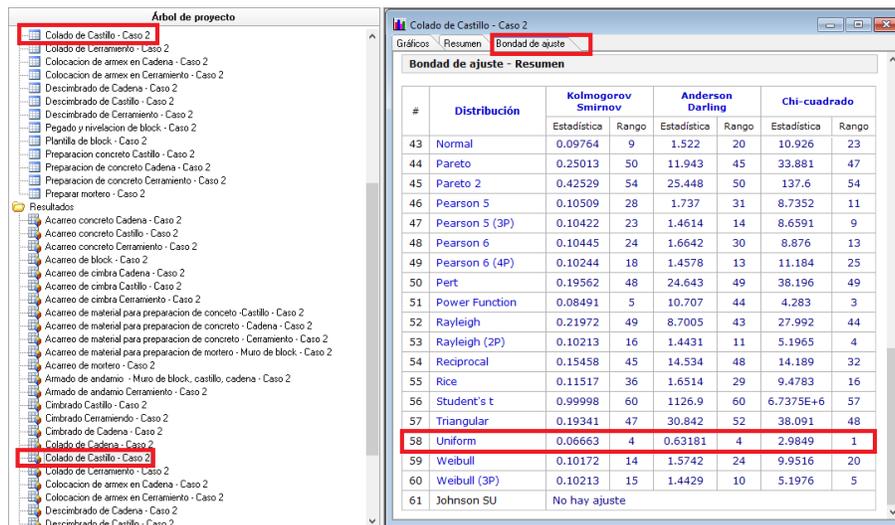


Figura 8. Ejemplo de listado de ajuste de distribuciones en el software Easyfit

4. Una vez identificada la distribución de probabilidad que más se ajusta al conjunto de datos, se verifica que ésta cumpla con las tres pruebas de bondad. Para esto, se ingresa a la distribución y se comprueba que ésta no es rechazada por ninguna prueba de bondad de ajuste. (Ver Figura 9)

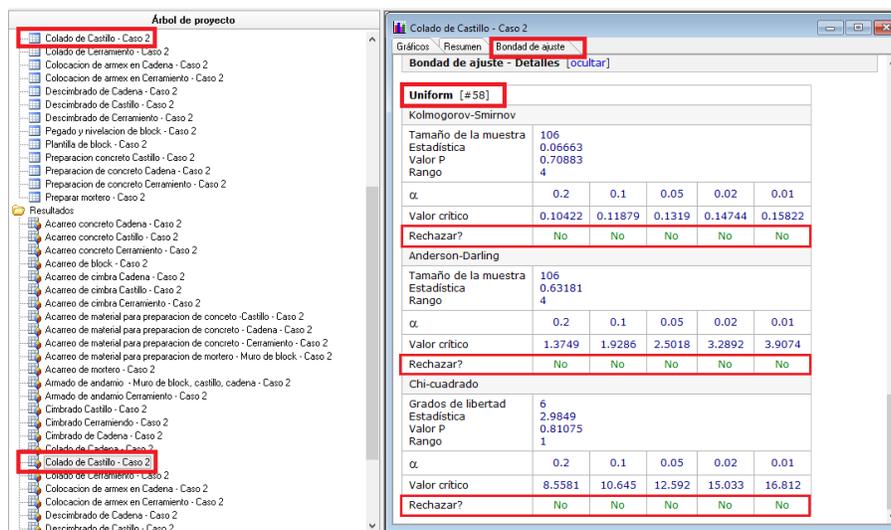


Figura 9. Ejemplo de prueba de bondad de ajuste en software Easyfit

5. Finalmente, se obtiene la gráfica con los parámetros de la distribución de probabilidad que más se ajustó al conjunto de datos, seleccionando la distribución en la pestaña de “Gráficos”. (Ver Figura 10)

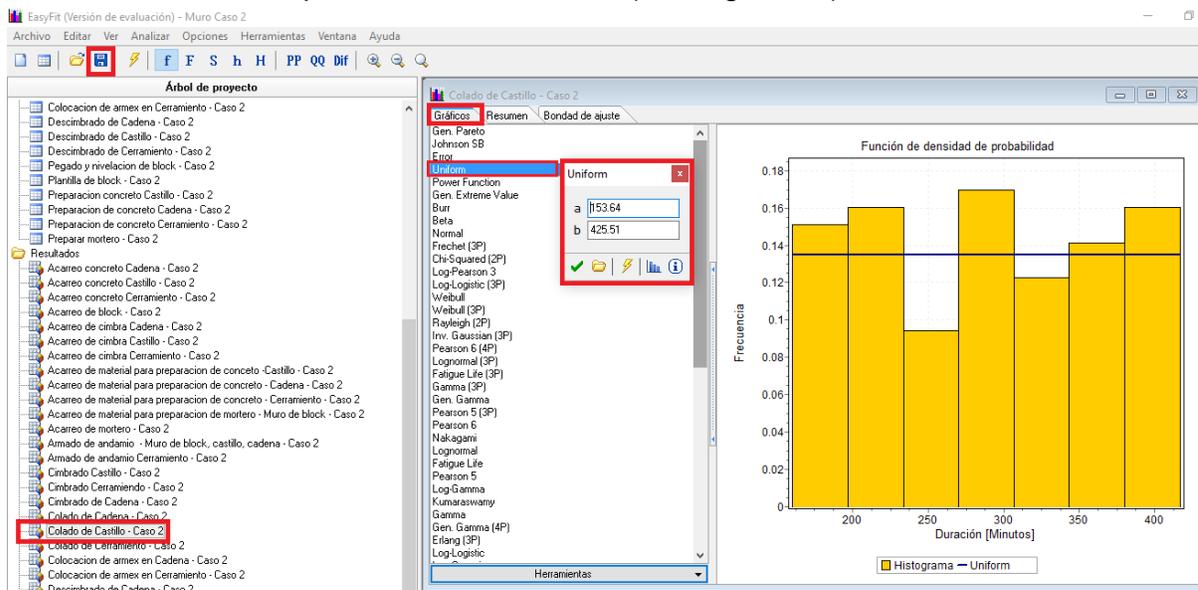


Figura 10. Ejemplo de gráfica y parámetros de las duraciones en el software Easyfit

### 3.3.5 ETAPA 3. Análisis de simulación de actividades

#### 3.3.5.1 Construcción de los modelos de simulación

Los modelos de simulación fueron construidos mediante el software de simulación de eventos discretos Symphony.Net, el cual permite trabajar en plantillas con propósitos especiales y generales. En la Tabla 8 se pueden observar los elementos que representaron las diferentes funciones y tipos de tareas en los modelos planteados.

Tabla 8. Elementos para el modelo de simulación.

Nombre	Descripción
<i>Counter</i>	Su función es contar las entidades que lo atraviesan.
<i>Create</i>	Genera una cantidad especificada de entidades y las envía en la dirección especificada en un intervalo de tiempo determinado.
<i>Destroy</i>	Destruye una entidad que llega al elemento.
<i>Execute</i>	Se usa para ejecutar una fórmula cuando una entidad pasa a través del elemento.
<i>Task</i>	Se utiliza para representar en el modelo una tarea que retrasa a las entidades que la atraviesan un tiempo determinado.

Continuación Tabla 8.

Nombre	Descripción
<i>Batch</i>	Produce una entidad cada vez que una cantidad determinada de entidades llegan al elemento.
<i>Conditional Branch</i>	Permite a una entidad tomar uno de dos caminos diferentes si se cumple o no determinada condición.
<i>Consolidate</i>	Consolida una cantidad especificada de entidades que llegan a la rama inferior con cada entidad recibida en la rama superior.
<i>Generate</i>	Produce la cantidad de entidades clonadas especificada por cada entidad que llega al elemento.
<i>Capture</i>	Cuando una entidad llega al elemento, éste la agrega al elemento <i>File</i> definido en sus parámetros.
<i>File</i>	Define una cola de espera para las entidades.
<i>Release</i>	El elemento libera una cantidad especificada de recursos.
<i>Resource</i>	Permite representar recursos. Se debe declarar junto con un elemento <i>File</i> , el cual contiene una cola que almacena entidades esperando por un recurso.
<i>Activator</i>	Elemento que controla el estado del elemento <i>Valve</i> .
<i>Valve</i>	Este elemento puede detener o permitir el flujo de las entidades dependiendo de su estado.

Fuente: Symphony.Net Development Team, 2011.

### 3.3.6.2 Validación de los modelos de simulación

Para la validación de los modelos de simulación se comparó el tiempo real empleado en la ejecución de los conceptos de trabajo para los dos casos de estudio, es decir, el tiempo total que se llevó en la ejecución de los conceptos de trabajo estudiados; contra el tiempo estimado promedio arrojado por mil corridas del modelo de simulación correspondiente al mismo caso de estudio.

Para asegurar que coincida la situación real con los modelos de simulación, diversos autores consideran válido el modelo cuando la diferencia entre ambas estimaciones no supera el 20% del tiempo estimado de duración real, lo cual garantiza que el modelo verdaderamente representa la situación real.<sup>111, 112, 113</sup>

---

<sup>111</sup> Tarek M. Zayed and Daniel W. Halpin, "Simulation as a tool for pile productivity assessment," *Journal of Construction Engineering and Management* 130, no. June (2004): 394–404.

### 3.3.7.3 Experimentación de diversos escenarios

Se realizó la experimentación mediante un estudio de análisis de sensibilidad de los modelos de simulación construidos, en el cual se plantearon diversos escenarios con el propósito de encontrar la composición y organización ideal para las cuadrillas. En este caso, el escenario ideal se consideró como aquel en el que la composición y organización de la cuadrilla haya resultado con la menor duración y el mejor porcentaje de tiempo de utilización de los recursos.

La composición y organización de la cuadrilla ideal para cada concepto de trabajo fue identificado mediante la comparación de los datos de duración real vs la duración estimada mediante los modelos de simulación. También se compararon los tiempos promedio de utilización de los recursos de mano de obra que se asumieron para los diferentes escenarios analizados. Como se aprecia en la Tabla 9, en estos escenarios se alternó la composición de la cuadrilla con diferentes cantidades de oficiales albañiles y ayudantes.

Tabla 9. Escenarios para análisis de sensibilidad de los modelos de simulación.

Escenario	Organización del Trabajo Tipo 1		Organización del Trabajo Tipo 2	
	Oficiales	Peones	Oficiales	Media Cuchara
1	1	1 - 2 - 3 - 4	1	1 - 2 - 3 - 4
2	2	1 - 2 - 3 - 4	2	1 - 2 - 3 - 4
3	3	1 - 2 - 3 - 4	3	1 - 2 - 3 - 4
4	4	1 - 2 - 3 - 4	4	1 - 2 - 3 - 4
5	1 - 2 - 3 - 4	0	1 - 2 - 3 - 4	0

Es necesario aclarar que estos escenarios se construyeron y analizaron considerando cuadrillas en las que el trabajo se organizó de dos diferentes maneras:

---

<sup>112</sup> TM Zayed and DW Halpin, "Process versus data oriented techniques in pile construction productivity assessment," *Journal of Construction Engineering and Management*, no. August (2004): 490–99.

<sup>113</sup> Lingguang Song and Simaan M. Abourizk, "Measuring and modeling labor productivity using historical data," *Journal of Construction Engineering and Management* 134, no. May 2010 (2008): 786–94.

En un grupo de escenarios (organización del trabajo tipo 1 en la Tabla 9), se asumió que los oficiales realizan todas las tareas de trabajo directo (tareas que representan un avance real de la actividad) y los peones realizan las tareas de trabajo contributivo (tareas que contribuyen o son necesarias para realizar el trabajo directo, es decir, los acarreos y la preparación de mezcla).

En otro grupo de escenarios (organización del trabajo tipo 2 en la Tabla 9), se propuso que el ayudante del oficial de albañilería fuera un “media cuchara” que tuviera una experiencia mayor a la del peón. Esto implicó que el ayudante (media cuchara) podía ayudar a realizar tareas de trabajo directo. En este caso, para el concepto de trabajo de Muro se asumió que este trabajador se hiciera cargo de las tareas de colado de los elementos estructurales (castillos armados, cerramientos y cadena de nivelación); mientras que en el concepto de trabajo de Techo se haría cargo de las tareas de colado de traveses y de colocación de acero de refuerzo (acero perimetral y malla electro soldada).

En la Tabla 10 se presenta de forma detalla la asignación de tareas para la construcción y experimentación de los modelos de simulación, dependiendo de la experiencia y capacitación de cada tipo de trabajador.

Tabla 10. Tareas asignadas por tipo de trabajador

TIPO DE TRAJADOR	TAREAS ASIGNADAS	
	MURO	TECHO
Oficial Albañil	Pegado y verificación de escuadra para plantilla de blocks	Habilitado de acero para traveses
	Pegado y nivelación de blocks	Habilitado de acero para losa
	Cimbrado de castillos	Izado de viguetas
	Cimbrado de cerramientos	Izado de bovedillas
	Cimbrado de cadena de nivelación	Cimbrado de traveses
	Colocación de acero de refuerzo para cerramientos y cadena	Apuntalamiento de losa
	Colado de castillo armado	Cimbrado perimetral de losa
	Colado de cerramiento	Colocación de acero en traveses
	Colado de cadena de nivelación	Colocación de acero perimetral
		Colocación de malla electro soldada
		Colado de traveses
	Colado de losa	

Continuación Tabla 10.

TIPO DE TRAJADOR	TAREAS ASIGNADAS	
	MURO	TECHO
Ayudante	Acarreo de blocks	Acarreo de viguetas
	Acarreo de material para preparación de mortero	Acarreo de bovedillas
	Preparación de mortero	Acarreo de acero de refuerzo
	Armado de andamios	
	Acarreo de material para preparación de concreto	
	Acarreo de mezcla (mortero y concreto)	
	Preparación de concreto	
	Acarreo de material de cimbra	
	Descimbrado de elementos	
Ayudante Media Cuchara	Acarreo de blocks	Colado de traves
	Acarreo de material para preparación de mortero	Colado de losa
	Preparación de mortero	
	Armado de andamios	
	Acarreo de material para preparación de concreto	
	Acarreo de mezcla (mortero y concreto)	
	Preparación de concreto	
	Acarreo de material de cimbra	
	Descimbrado de elementos	
	Colado de castillo armado	Colocación de acero en traves
	Colado de cerramiento	Colocación de acero perimetral
	Colado de cadena de nivelación	Colocación de malla electro soldada

Una vez que se obtuvieron las estimaciones de duración de la ejecución del concepto de trabajo y de porcentaje de utilización de los recursos, obtenidas con los modelos de simulación, se procedió a comparar los resultados obtenidos para los diferentes escenarios planteados.

Posterior al análisis del porcentaje de utilización de los recursos y la duración de la ejecución del concepto de trabajo, se consideró pertinente realizar un análisis adicional con respecto al costo de las cuadrillas, con el fin de poder identificar con mayor claridad la composición ideal de la cuadrilla a cargo de los conceptos de trabajo estudiados.

Por lo anterior, se realizó un sondeo en diferentes empresas constructoras de la región para conocer cuáles eran los salarios por jornal que percibía la mano de obra en la industria de la construcción en Mérida-Yucatán. Se obtuvo como respuesta los siguientes salarios (no se consideraron los costos de prestaciones): albañil \$350.00/jornal, peón \$200.00/jornal, media cuchara \$260.00/jornal.

Para el cálculo del costo de la cuadrilla se hizo uso de la Ecuación 3.

$$\text{Costo de la cuadrilla} = (NO * CO) + (NA * CA) \quad \text{Ecuación 3.}$$

Donde, *NO* es el número de Oficiales que conforman la cuadrilla, *CO* es el costo (salario) de los oficiales, *NA* es el número de ayudantes que conforman la cuadrilla ya sean medias cucharas o peones y *CA* es el costo (salario) del tipo de ayudante (medias cucharas o peones).

Por ejemplo si la cuadrilla estuvo compuesta por 2 oficiales albañiles más 2 ayudantes peones el costo de la cuadrilla es:

$$\text{Costo de la cuadrilla} = \left( 2 * \frac{\$350.00}{\text{jornal}} \right) + \left( 2 * \frac{\$200.00}{\text{jornal}} \right) = \frac{\$1100.00}{\text{jornal}}$$

Para realizar el análisis de costos se tomaron en cuenta las siguientes consideraciones:

- Se transformó la duración [minutos] suministrada por los modelos de simulación en jornales de 8hr/día.
- Se calculó el costo de la cuadrilla.
- Para la duración y el costo se organizaron los resultados por escenario de menor a mayor, siendo el menor valor el mejor escenario.
- Para el porcentaje de utilización de los recursos se consideró el mejor escenario, las cuadrillas que tuvieran un porcentaje de utilización mayor.

El resultado ideal se consideró como aquella composición de la cuadrilla de trabajo con el mejor desempeño, es decir, con la menor duración, los mejores porcentajes de utilización de los recursos y los menores costos de la cuadrilla.

## **4. RESULTADOS**

### **4.1 Etapa 1. Estudio del trabajo**

Se visitaron dos proyectos de construcción para estudiar las actividades que corresponden al concepto de trabajo Muro; de igual manera, se visitaron dos proyectos para el estudio de las actividades que corresponden al concepto de trabajo de Techo. Primero se realizó el estudio del método de trabajo con el fin de identificar las tareas que componen las actividades a ser estudiadas.

Seguido de esto, se procedió a realizar el muestreo del trabajo de los dos casos de estudio para los conceptos de trabajo de Muro y Techo. A continuación, se describen con detalle los procedimientos realizados para el estudio de métodos y el muestreo de trabajo.

#### **4.1.1 Estudio de métodos**

##### ***4.1.1.1 Concepto de trabajo - Muro***

Durante el estudio de métodos se identificaron las tareas que conforman las actividades que forman parte del concepto de trabajo de Muro. En la Figura 11 se puede observar la estructura de desglose de los trabajos que se realizó para identificar las actividades y tareas a partir del concepto de trabajo de Muro.

Una vez teniendo la estructura de desglose, se procedió a enlistar las tareas que hacen parte del concepto de trabajo Muro, como se presenta en la Tabla 11. Es necesario aclarar que en esta lista se han simplificado aquellas tareas que se repitan entre actividades, ya que implican procedimientos similares para su ejecución. Por ejemplo, se consideró el armado de andamios como una misma tarea para las cuatro actividades que incluye el concepto de Muro; por lo tanto, la productividad de esta tarea se midió tomando de manera indistinta mediciones, ya sea durante la construcción del muro de block, los castillos armados, los cerramientos, o las cadenas de nivelación.



Figura 11. Estructura de desglose del concepto de trabajo de Muro

Tabla 11. Desglose de tareas de la actividad de Muro

TAREAS	INCLUYE
Acarreo de blocks	
Pegado y verificación de escuadra para plantilla de blocks	
Pegado y nivelación de blocks	
Acarreo de material para mortero	Cemento, cal, arena, agua
Acarreo de material para concreto	Cemento, grava, arena, agua
Preparación de mortero	
Preparación de concreto	
Acarreo de mezcla	Mortero, concreto
Acarreo de material de cimbra	Castillos, cerramientos, cadena de nivelación
Cimbrado de castillo armado	
Cimbrado de cerramientos	
Cimbrado de cadenas de nivelación	
Colocación de acero de refuerzo	Cerramientos, cadena de nivelación
Colado de castillo armado	
Colado de cerramiento	
Colado de cadena de nivelación	
Descimbrado de elementos	Castillo armado, cerramientos, cadena de nivelación
Armado de andamios	Muro de block, castillos armados, cerramientos y cadena de nivelación.

A partir de esta lista de tareas, se realizó el diagrama de flujo correspondiente al concepto de trabajo de Muro, como se puede observar en la Figura 12.

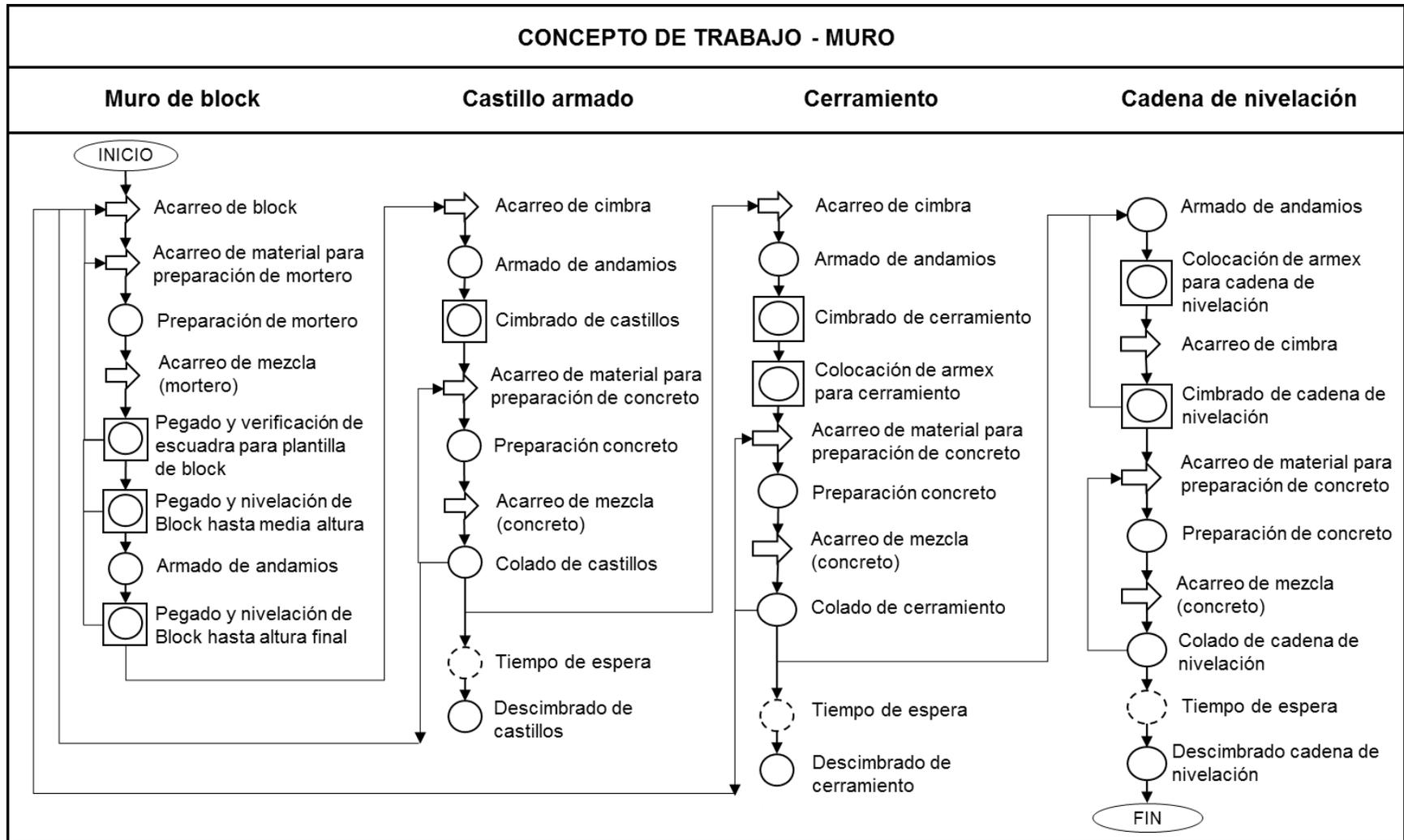


Figura 12. Diagrama de flujo de procesos del concepto de trabajo de Muro.

#### 4.1.1.2 Concepto de trabajo – Techo

De igual manera, en la Figura 13 se puede observar la estructura de desglose del trabajo que se identificó para el concepto de trabajo de Techo.



Figura 13. Estructura de desglose del concepto de trabajo de Techo

Una vez teniendo la estructura de desglose, se procedió a enlistar las tareas que forman parte del concepto de trabajo de Techo, simplificando aquellas tareas que se

repitan entre actividades y que no representan una variación significativa de la productividad de la tarea en las diferentes actividades. En la Tabla 12 se muestran las tareas que componen el concepto de trabajo de Techo.

Tabla 12. Desglose de tareas del concepto de trabajo de Techo.

TAREA	INCLUYE
Acarreo de viguetas	
Acarreo de bovedillas	
Acarreo de acero de refuerzo	Trabes, losa (cortes perimetrales)
Habilitado de acero para trabes	
Habilitado de acero para losa	
Acarreo de material para concreto	Cemento, grava, arena, agua
Preparación de concreto	
Acarreo de concreto	
Acarreo de material para cimbra	Trabes, Losa (cortes perimetrales)
Armar andamio	
Izado de viguetas	
Izado de bovedillas	
Cimbrado de trabes	
Apuntalamiento de losa	
Cimbrado de losa perimetral	
Colocación de acero en trabes	
Colocación de acero perimetral	
Colocación de malla electro-soldada	
Colado de trabes	
Colado de losa	
Descimbrado de trabes y losa	Quitar puntales y cimbra perimetral

En la Figura 14 se muestra el diagrama de flujo correspondiente al concepto de trabajo Techo.

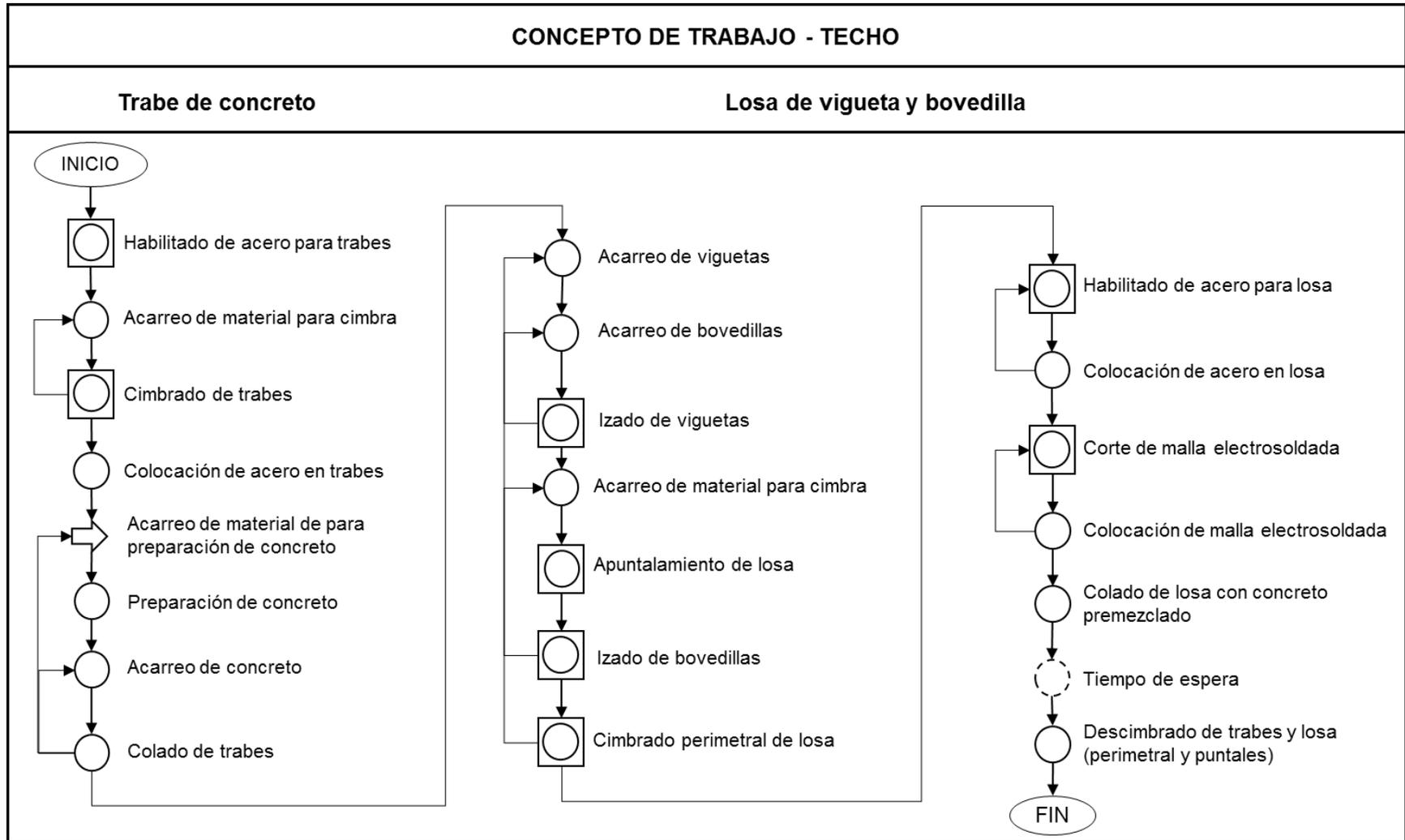


Figura 14. Diagrama de flujo de procesos del concepto de trabajo de Techo.

#### 4.1.2 Muestreo del trabajo

A continuación, se mostrarán los resultados obtenidos durante el muestreo del trabajo de las actividades correspondientes a los conceptos de trabajo de Muro y Techo.

##### 4.1.2.1 Concepto de trabajo - Muro

En la Tabla 13 se observa la bitácora de las actividades que realizó cada uno de los trabajadores durante el muestreo del trabajo.

Tabla 13. Bitácora concepto de trabajo de Muro – Caso 1.

DÍA	BITÁCORA MURO - CASO 1	
	TRABAJADOR 1 (Oficial-Albañil)	
1	Acarreó bloques, pegó la plantilla de block con su respectiva verificación de escuadra y plomada y preparó la mezcla necesaria para el pegado de los bloques.	
2	Acarreó los bloques y preparó la mezcla necesaria, con lo cual realizó el pegado y plomado de block hasta una altura de 6 filas en los muros exteriores de la vivienda.	
3	Acarreó los bloques y preparó la mezcla necesaria, con lo cual realizó el pegado de block hasta la altura de 6 filas de los muros interiores, luego continuó con el pegado y plomado de block de la fila 6 a la 11. Además, armó los andamios necesarios.	
4	Continuó pegando y plomando block de la fila 6 a la 11 tanto en muros exteriores como interiores. Acarreó los bloques, preparó la mezcla y armó los andamios necesarios para esas tareas, adicionalmente empezó con el cimbrado de los primeros castillos.	
5	Continuó pegando y plomando block de la fila 6 a la 11 tanto en muros exteriores como interiores. Acarreó los bloques, preparó la mezcla y armó los andamios necesarios para esas tareas, adicionalmente empezó a colar los castillos cimbrados el día anterior y continuó cimbrando otros castillos.	
DÍA	TRABAJADOR 1 (Oficial-Albañil)	TRABAJADOR 2 (Oficial-Albañil)
6	Terminaron de pegar el muro de block. Acarreó los bloques, preparó la mezcla y armó los andamios necesarios para esas tareas. Además terminó el colado del resto de los castillos.	Continuó cimbrando castillos y empezaron el colado de los mismos, para lo cual, armó los andamios y se preparó la mezcla necesaria para dichas tareas.
7	Descimbraron los castillos, se empezó a colocar el acero de refuerzo (armex) de la cadena de nivelación y empezó a cimbrar la cadena, para ello armó los andamios necesarios para dichas tareas	Descimbraron los castillos, se empezó a colocar el acero de refuerzo (armex) de la cadena de nivelación y empezó a cimbrar la cadena, para ello armó los andamios necesarios para dichas tareas
8	Se terminó el cimbrado de la cadena de nivelación y se realizó el colado de la cadena de nivelación, Armando los andamios y preparando la mezcla necesaria para esas tareas.	Se terminó el cimbrado de la cadena de nivelación y se realizó el colado de la cadena de nivelación, Armando los andamios y preparando la mezcla necesaria para esas tareas.

Tabla 14. Muestreo del trabajo de Muro - Caso 1.

CONCEPTO DE TRABAJO		MURO															
		DIA 1	DIA 2	DIA 3	DIA 4	DIA 5	DIA 6	DIA 7	DIA 8								
Clasificación [%]		TRABAJADOR 1 (OFICIAL ALBAÑIL)															
Tiempo productivo	Directo	16	53	58	78	50	77	43	64	11	95	6	82	20	85	14	68
	Indirecto	37		20		27		21		84		76		65		54	
Tiempo improductivo	Esperas	3		0		2		2		0		0		0		6	
	Personales	28		12		20		17		0		18		15		20	
	Retorno vacío	3	47	0	22	0	22	2	36	0	5	0	18	0	15	6	32
	No se encontró al trabajador	6		10		0		14		5		0		0		0	
	Retrabajos	6		0		0		0		0		0		0		0	
Observaciones diarias		32	50	40	42	19	50	40	50								
Horario de trabajo		9:00-14:45	8:00-17:00	8:55-16:15	8:00-15:40	14:00-17:00	8:00-17:00	8:00-15:00	8:00-17:00								
Total de observaciones realizadas al trabajador 1															323		
Porcentaje promedio de tiempo de trabajo directo del trabajador 1															28.48%		
<b>Porcentaje promedio de tiempo productivo del trabajador 1</b>															<b>64.40%</b>		
<b>Porcentaje promedio de tiempo improductivo del trabajador 1</b>															<b>35.60%</b>		
MURO		DIA 1	DIA 2	DIA 3	DIA 4	DIA 5	DIA 6	DIA 7	DIA 8								
Clasificación		TRABAJADOR 2 (OFICIAL ALBAÑIL)															
Tiempo productivo	Directo						6	74	28	78	26	68					
	Indirecto						68		50		42						
Tiempo improductivo	Espera						2		0		6						
	Personales						18		18		26						
	Retorno vacío						0	26	3	23	0	32					
	No se encontró al trabajador						6		3		0						
	Retrabajos						0		0		0						
Observaciones diarias		0	0	0	0	0	50	40	50								
Horario de trabajo		/	/	/	/	/	8:00-17:00	8:00-15:00	8:00-17:00								
Total de observaciones realizadas al trabajador 2															140		
Porcentaje promedio de tiempo de trabajo directo del trabajador 2															19.29%		
Porcentaje promedio de tiempo productivo del trabajador 2															72.86%		
Porcentaje promedio de tiempo improductivo del trabajador 2															27.14%		
CUADRILLA (Dos trabajadores oficiales albañiles)																	
Total de observaciones realizadas a la cuadrilla															463		
Porcentaje promedio de tiempo de trabajo directo de la cuadrilla															25.70%		
Porcentaje promedio de tiempo productivo de la cuadrilla															74.08%		
Porcentaje promedio de tiempo improductivo de la cuadrilla															25.92%		
Total de horas-hombre invertidas en la actividad															73		

Como se puede observar en la Tabla 13 y Tabla 14, la duración total del concepto de trabajo de Muro fue de 8 días hábiles. Un trabajador oficial albañil inició el concepto de trabajo del día 1 al día 5 y posteriormente se integró otro trabajador oficial albañil del día 6 al día 8. Los porcentajes de tiempo productivo y tiempo improductivo para el caso 1 de estudio, corresponden a 74.08% y 25.92% respectivamente; con un total de horas hombre invertidas en la actividad de 73 h-h.

De igual forma, en la Tabla 15 se observa la bitácora de actividades que realizó el trabajador durante el muestreo del trabajo. En la Tabla 16 se pueden observar los resultados del muestreo del trabajo para el caso 2 del concepto de trabajo de Muro.

Tabla 15. Bitácora concepto de trabajo de Muro – Caso 2.

DÍA	BITÁCORA MURO - CASO 2
	TRABAJADOR 1 (Oficial-Albañil)
1	Acarreó los bloques y preparó la mezcla necesaria, con la cual realizó el pegado de la plantilla de block con su respectiva verificación de escuadra y plomada.
2	Realizó el pegado y plomado de block hasta una altura de 6 filas de todos los muros exteriores de la vivienda, para ello, acarreó los bloques y preparó la mezcla necesaria para ello.
3	Terminó el pegado de block hasta la altura de 6 filas de los muros interiores al medio día. Continuó con el pegado y plomado de block de la fila 6 a la 11 de los muros exteriores. Acarreó los bloques, preparó la mezcla y armó los andamios necesarios para dichas tareas.
4	Continuó pegando y plomando block de la fila 6 a la 11 tanto en muros exteriores como interiores, para ello acarreó los bloques, preparó la mezcla y armó los andamios necesarios para dichas tareas. Adicionalmente empezó a cimbrar y a colar los primeros castillos
5	Continuó pegando y plomando block de la fila 6 a la 11 tanto en muros exteriores como interiores, acarreó los bloques, preparó la mezcla y armó los andamios necesarios para dichas tareas. De igual forma continuó cimbrando y a colar los castillos de los muros ya terminados.
6	Terminó el pegando de block, el cimbrado y colado de todos los castillos. Acarreó los bloques, preparó la mezcla y armó los andamios necesarios para dichas tareas.
7	Descimbró los castillos, colocó el acero de refuerzo (armex) de la cadena de nivelación y empezó el cimbrado de la cadena de nivelación, para lo cual, armó los andamios necesarios para estas tareas.
8	Terminó el cimbrado de la cadena de nivelación y realizó el colado de la cadena de nivelación, para lo cual preparó la mezcla y armo los andamios necesarios para dichas tareas.

Tabla 16. Muestreo del trabajo de Muro - Caso 2.

CONCEPTO DE TRABAJO		MURO															
		DIA 1		DIA 2		DIA 3		DIA 4		DIA 5		DIA 6		DIA 7		DIA 8	
Clasificación [%]		TRABAJADOR 1 (OFICIAL ALBAÑIL)															
Tiempo productivo	Directo	33	60	76	96	42	82	44	82	50	75	22	94	44	83	32	80
	Indirecto	27		20		40		38		25		72		39		48	
Tiempo improductivo	Espera	7		0		0		0		0		0		0		8	
	Personales	27		4		11		14		19		6		15		8	
	Retorno vacio	0	40	0	4	7	18	0	18	3	25	0	6	0	17	0	20
	No se encontró al trabajador	7		0		0		4		3		0		2		4	
	Retrabajos	0		0		0		0		0		0		0		0	
Observaciones diarias		30		50		45		50		36		50		41		50	
Horario de trabajo		9:10 -14:45		8:00 -17:00		8:00 -16:15		8:00 -15:40		8:30 -15:00		8:00 -17:00		8:00 -15:30		8:00 -17:00	
Total de observaciones realizadas al trabajador															352		
<b>CUADRILLA (Un trabajador oficial albañil)</b>																	
Porcentaje promedio de tiempo de trabajo directo de la cuadrilla															43.18%		
Porcentaje promedio de tiempo productivo de la cuadrilla															82.95%		
Porcentaje promedio de tiempo improductivo de la cuadrilla															17.05%		
Total de horas-hombre invertidas en la actividad															58		

Como se puede observar en la Tabla 15, la duración total del concepto de trabajo fue de 8 días hábiles; la cuadrilla de trabajo estuvo compuesta por un solo trabajador oficial, quien fue el encargado realizar todas las actividades del concepto de trabajo de Muro durante su duración. En la

Tabla 16 se muestra los porcentajes de tiempo productivo y de tiempo improductivo para el caso 2 de estudio, los cuales corresponden a 82.95% y 17.04% respectivamente; con un total de horas hombre invertidas en la actividad de 58 h-h.

#### 4.1.2.2 Concepto de trabajo - Techo

En la Tabla 17 se observa la duración total del concepto de trabajo de Techo fue de 5 días hábiles para el caso 1, en donde la cuadrilla de trabajo estuvo compuesta por dos trabajadores oficiales albañiles durante toda su duración; sin embargo, se puede observar que el trabajador 2 no asistió el día 3 del muestreo de trabajo (día lunes).

Por su parte, en la

Tabla 18 se puede observar el porcentaje de tiempo productivo e improductivo que obtuvo la cuadrilla para el caso 1 de estudio del concepto de trabajo de Techo, los cuales corresponden a 78.77% y 21.23% respectivamente; con un total de horas hombre invertidas en el concepto de trabajo de 51 h-h.

Tabla 17. Bitácora concepto de trabajo de Techo - Caso 1.

DÍA	BITÁCORA TECHO - CASO 1	
	TRABAJADOR 1 (Oficial-Albañil)	TRABAJADOR 2 (Oficial-Albañil)
1	Se habilitó el acero para trabe, se realizó el cimbrado y apuntalamiento de la misma. Se realizó el colado de la trabe.	Ayudó a realizar el cimbrado y apuntalamiento de la trabe y preparó la mezcla de concreto y acarreo la misma para el colado de la trabe.
2	Se acarrearon las viguetas y las primeras bovedillas, luego se izaron todas las viguetas y las primeras bovedillas, de igual forma pusieron los primeros puntales a la losa.	Se acarrearon todas las viguetas y las primeras bovedillas, luego se izaron todas las viguetas y las primeras bovedillas, de igual forma pusieron los primeros puntales a la losa.
3	Continuó acarreando todas las bovedillas necesarias para la losa.	No asistió a trabajar.
4	Terminaron de izar las bovedillas y se empezó la cimbra perimetral de la losa.	Terminaron de izar las bovedillas y se empezó la cimbra perimetral de la losa.
5	Terminó el cimbrado perimetral de la losa y realizaron el colado de la losa con concreto premezclado.	Colocó el acero en la losa (malla electro soldada y cortes de varillas) y se realizaron el colado de la losa con concreto premezclado.

Tabla 18. Muestreo del trabajo de Techo - Caso 1.

CONCEPTO DE TRABAJO		TECHO									
		DIA 1		DIA 2		DIA 3		DIA 4		DIA 5	
Clasificación [%]		TRABAJADOR 1 (OFICIAL ALBAÑIL)									
Tiempo productivo	Directo	0	77	28	76	0	43	36	82	32	87
	Indirecto	77		48		43		46		55	
Tiempo improductivo	Espera	0	23	0	24	4	57	0	18	0	13
	Personales	0		18		4		14		7	
	Retorno vacío trabajador	0		0		7		4		6	
	Retrabajos	23		6		43		0		0	
		0		0		0		0		0	
Observaciones diarias		13		50		28		50		31	
Horario de trabajo		14:15 -16:15		8:00 -17:00		10:20 -13:00		8:00 -17:00		8:00 -13:00	
Total de observaciones realizadas al trabajador 1										172	
Porcentaje promedio de tiempo de trabajo directo del trabajador 1										24.42%	
Porcentaje promedio de tiempo productivo del trabajador 1										74.42%	
Porcentaje promedio de tiempo improductivo del trabajador 1										25.58%	

Continuación Tabla 18.

TECHO		DIA 1		DIA 2		DIA 3		DIA 4		DIA 5	
Clasificación [%]		TRABAJADOR 2 (OFICIAL ALBAÑIL)									
Tiempo productivo	Directo	8	77	30	82			36	82	33	90
	Indirecto	69		52		46		58			
Tiempo no productivo	Espera	0	23	2	18			0	18	0	10
	Personal	0		12		18		5			
	Retorno vacío trabajador	0		0		0		5			
	Retrabajos	23		4		0		0			
		0		0		0		0			
Observaciones diarias		13		50		0		50		40	
Horario de trabajo		14:15 -16:15		8:00 -17:00		/		8:00 -17:00		8:00 -15:20	
Total de observaciones realizadas al trabajador 2										153	
Porcentaje promedio de tiempo de trabajo directo del trabajador 2										30.72%	
Porcentaje promedio de tiempo productivo del trabajador 2										83.66%	
Porcentaje promedio de tiempo improductivo del trabajador 2										16.34%	

**CUADRILLA (Dos trabajadores oficiales albañiles)**

Total de observaciones realizadas a la cuadrilla										325	
Porcentaje promedio de tiempo de trabajo directo de la cuadrilla										27.38%	
Porcentaje promedio de tiempo productivo de la cuadrilla										78.77%	
Porcentaje promedio de tiempo improductivo de la cuadrilla										21.23%	
Total de horas-hombre invertidas en la actividad										51	

En cuanto al caso 2 de estudio del concepto de trabajo de Techo, se presenta la Tabla 19 donde se observa la bitácora de actividades de los trabajadores durante el muestreo del trabajo. Se puede observar que la duración total en la ejecución del concepto de trabajo fue de 3 días hábiles.

Cabe aclarar que en el estudio del trabajo se identificaron las tareas de descimbrado de trabes, cimbra perimetral y puntales. Sin embargo, durante el muestreo del trabajo de los dos casos de estudio del concepto de trabajo de Techo, no se realizó el muestreo de estas tareas debido a que el tiempo de curado es muy largo; por tal razón el muestreo de las actividades se realizó hasta el colado de los elementos como se menciona en las bitácoras de trabajo.

Tabla 19. Bitácora concepto de trabajo de Techo – Caso 2.

DÍA	BITÁCORA TECHO - CASO 2	
	TRABAJADOR 1 (Oficial-Albañil)	TRABAJADOR 2 (Ayudante-Peón)
1	Se acarrearon los elementos prefabricados al lado del muro, se habilitó el acero para la trabe, realizó el cimbrado, apuntalamiento y colado de la misma. Realizó el colado de la trabe. Izaron todas las viguetas y las primeras bovedillas y se empezaron el apuntalamiento de la losa.	Se acarrearon los elementos prefabricados al lado del muro, ayudó en el cimbrado y apuntalamiento de la trabe, preparó la mezcla de concreto y la acarreo para el colado de la trabe, ayudó a izar todas las viguetas y las primeras bovedillas y empezaron el apuntalamiento de la losa.
2	Terminaron de izar todas las bovedillas, se terminó de colocar los puntales y se empezó el cimbrado de la losa perimetral.	Terminaron de izar todas las bovedillas, se habilito el acero de refuerzo perimetral de la losa.
3	Terminaron el cimbrado perimetral, se colocó la malla electro soldada y se realizó el colado de la losa con concreto premezclado	Terminaron el cimbrado perimetral, se colocó la malla electro soldada y se realizó el colado de la losa con concreto premezclado

De igual forma, es importante mencionar que en el caso 2 del concepto de trabajo de Techo, los trabajadores no realizaron el acarreo de los elementos prefabricados (viguetas y bovedillas) desde el sitio de almacenamiento, es decir que al iniciar la

ejecución del concepto de trabajo los elementos prefabricados ya se encontraban en frente de la vivienda, por lo cual el acarreo solo fue de aproximadamente 6 metros, distancia que corresponde desde el frente de la vivienda hasta el lado de los muros. Esta observación se ve reflejada en una menor duración en la ejecución del concepto con respecto al caso 1 del mismo concepto de trabajo.

Por su parte, la Tabla 20 muestra los resultados del muestreo del trabajo del caso 2 del concepto de trabajo de Techo, en donde, los porcentajes de tiempo productivo y tiempo improductivo correspondiente a la cuadrilla, fueron de 64.81% y 35.18% respectivamente; con un total de horas hombre invertidas en la ejecución del concepto de trabajo de 44 h-h.

Tabla 20. Muestreo del trabajo Techo - Caso 2.

CONCEPTO DE TRABAJO		TECHO					
		DIA 1		DIA 2		DIA 3	
Clasificación [%]		TRABAJADOR 1 (OFICIAL ALBAÑIL)					
Tiempo productivo	Directo	13	69	50	80	48	74
	Indirecto	56		30		26	
Tiempo improductivo	Espera	4	31	0	20	4	26
	Personales	22		18		20	
	Retorno vacío	2		0		2	
	No se encontró al trabajador	2		2		0	
	Retrabajos	0		0		0	
Observaciones diarias		45		40		50	
Horario de trabajo		8:00 -16:15		8:00 -15:20		8:00 -17:00	
Total de observaciones realizadas al trabajador 1		135					
Porcentaje promedio de tiempo de trabajo directo del trabajador 1		37.04%					
Porcentaje promedio de tiempo productivo del trabajador 1		74.07%					
Porcentaje promedio de tiempo improductivo del trabajador 1		25.93%					
TECHO		DIA 1		DIA 2		DIA 3	
Clasificación		TRABAJADOR 2 (AYUDANTE PEÓN)					
Tiempo productivo	Directo	0	44	18	60	8	62
	Indirecto	44		43		54	
Tiempo no productivo	Espera	7	56	20	40	6	38
	Personales	42		18		26	
	Retorno vacío	7		3		6	
	No se encontró al trabajador	0		0		0	
	Retrabajos	0		0		0	
Observaciones diarias		45		40		50	
Horario de trabajo		8:00 -16:15		8:00 -15:20		8:00 -17:00	
Total de observaciones realizadas al trabajador 2		270					
Porcentaje promedio de tiempo de trabajo directo del trabajador 2		8.15%					
Porcentaje promedio de tiempo productivo del trabajador 2		55.56%					
Porcentaje promedio de tiempo improductivo del trabajador 2		44.44%					
CUADRILLA (Un trabajador oficial albañil y 1 Ayudante peón)							
Tiempo promedio de trabajo directo de la cuadrilla		22.59%					
Tiempo promedio productivo de la cuadrilla		64.81%					
Tiempo promedio improductivo de la cuadrilla		35.18%					
Total de horas-hombre invertidas en la actividad		44					

## **4.2 ETAPA 2. Pruebas de bondad de ajuste**

### **4.2.1 Recolección de datos de productividad de las tareas**

Para la recolección de los datos de productividad de las tareas, se visitaron cinco proyectos de construcción de vivienda en los cuales se recolectaron los datos de productividad de las tareas que hacen parte de las actividades comprendidas en los conceptos de trabajo Muro y Techo.

En el Apéndice A, se presentan las duraciones observadas para en cada una de las tareas estudiadas; una vez recolectadas todas las duraciones, se procedió a calcular la productividad de cada una de las tareas estudiadas en los casos de estudio. De esta manera, en el Apéndice B se presentan las productividades calculadas de cada una de las tareas estudiadas.

### **4.2.2 Cálculo de las duraciones de las tareas en los casos de estudio**

Mediante la revisión de los planos de los casos de estudio seleccionados en la Etapa 1 del Estudio del trabajo, se procedió a realizar el cálculo de los volúmenes de obra de los conceptos de trabajo estudiados. Cabe aclarar que para cada concepto de trabajo se estudiaron dos casos de estudio con diferentes volúmenes de obra.

En la Tabla 21 se muestran los volúmenes correspondientes a los dos casos de estudio del concepto de trabajo Muro. De igual manera, en la Tabla 22 se presentan los volúmenes de obra correspondientes a las tareas del concepto de trabajo de Techo.

Tabla 21. Volúmenes de obra de los casos de estudio del concepto de trabajo Muro.

<b>VOLUMENES DE OBRA - CONCEPTO DE TRABAJO MURO</b>			
<b>ACTIVIDAD</b>	<b>TAREAS</b>	<b>CASO 1</b>	<b>CASO 2</b>
Muro de block	Armado de andamios	14 unidades	10 unidades
	Acarreo de blocks	1480 blocks	960 blocks
	Pegado y verificación de escuadra de plantilla de block	9.6 m2 - 160 blocks	8 m2 - 100 blocks
	Pegado y nivelación de blocks	109.8 m2 - 1320 unid.	66.5 m2 - 840 blocks
	Acarreo de material para preparación de mortero	140 cubetas	100 cubetas
	Preparación de mortero	1.795 m3 - 100 cubetas	1.117 m3 - 65 cubetas
	Acarreo de mortero	100 cubetas	65 cubetas
Castillo armado	Acarreo de material de cimbra	58 tablas	42 tablas
	Cimbrado de castillos	21 m2	15 m2
	Acarreo de material para preparación de concreto	119 cubetas	95 cubetas
	Preparación de concreto	1.575 m3 - 85 cubetas	1.125 m3 - 65 cubetas
	Acarreo de concreto	85 cubetas	65 cubetas
	Colado de castillo armado	1.575 m3 – 85 cubetas	1.125 m3 – 65 cubetas
	Descimbrado de castillo armado	21 m2 – 58 tablas	15 m2 – 42 tablas
Cerramiento	Acarreo de material de cimbra	12 tablas	14 tablas
	Cimbrado de cerramientos	5.64 m2	6 m2
	Colocación de armex	6 m	6 m
	Acarreo de material para preparación de concreto	21 cubetas	25 cubetas
	Preparación de concreto	0.282 m3 - 15 cubetas	0.3 m3 - 15 cubetas
	Acarreo de concreto	16 cubetas	17 cubetas
	Colado de cerramientos	0.282 m3	0.3 m3
	Descimbrado de cerramiento	5.64 m2	6 m2
Cadena de nivelación	Armado de andamios	23 unid.	16 unidades
	Acarreo de material de cimbra	48 tablas	34 tablas
	Colocación de armex	57 m	39 m
	Cimbrado de cadena de nivelación	17.4 m2	12.69 m2
	Acarreo de material para preparación de concreto	105 cubetas	79 cubetas
	Preparación de concreto	1.305 m3 - 75 cubetas	0.952 m3 - 55 cubetas
	Acarreo de concreto	75 cubetas	55 cubetas
	Colado de cadena de nivelación	1.305 m3	0.952 m3
	Descimbrado de cadena de nivelación	17.4 m2	12.69 m2

Tabla 22. Volúmenes de obra de los casos de estudio del concepto de trabajo Techo.

<b>VOLIMENES DE OBRA - CONCEPTO DE TRABAJO - TECHO</b>			
<b>ACTIVIDAD</b>	<b>TAREAS</b>	<b>CASO 1</b>	<b>CASO 2</b>
Trabe de concreto armado	Acarreo de acero de refuerzo	16 Kg	16.3 Kg
	Habilitado de acero de refuerzo	16 Kg	16.3 Kg
	Acarreo de material de cimbra	9 Tablas	2 Tablas
	Cimbrado de trabe	9 Tablas	2 Tablas
	Colocación de acero de refuerzo	5.5 ml	4.2 ml
	Acarreo de material para preparación de concreto	0.30 m3 - 25 cubetas	0.30 m3 - 25 cubetas
	Preparación de concreto	15 cubetas	15 cubetas
	Acarreo de concreto	15 cubetas	15 cubetas
	Colado de trabe	0.30 m3 - 15 cubetas	0.30 m3 - 15 cubetas
	Descimbrado de trabe	4.10 m2	0.84 m2
Losa tipo de vigueta y bovedilla	Acarreo de viguetas	20 Unidades	25 Unidades
	Acarreo de bovedillas	245 Unidades	245 Unidades
	Izado de viguetas	20 Unidades	25 Unidades
	Izado de bovedillas	245 Unidades	245 Unidades
	Apuntalamiento de losa	47.5 m2	45.7 m2
	Habilitado de acero (perimetral)	39 ml	39 ml
	Colocación de acero perimetral	39 ml -30 varillas	39 ml -30 varillas
	Acarreo de material de cimbra	12.3 m2 - 13 Tablas	12.3 m2 - 13 Tablas
	Cimbrado perimetral	12.3 m2 - 13 Tablas	12.3 m2 - 13 Tablas
	Colocación de malla electro-soldada	47.5 m2	45.7 m2
	Colado de losa con concreto premezclado	2.735 m3	2.735 m3
	Descimbrado de losa	59.8 m2	58.0 m2

Cabe aclarar que en la construcción de los modelos de simulación fue considerado la naturaleza iterativa de las tareas, por lo cual, las duraciones de las tareas no fueron calculadas sobre el total de volumen de obra presentado en la Tabla 21 y Tabla 22, si no por una cantidad específica de trabajo dependiendo del tipo de tarea. En la Tabla 23 se puede observar la cantidad de trabajo que se consideró para la construcción de los modelos de simulación del concepto de trabajo de Muro. Seguido de esto, conociendo el volumen total de obra de la tarea y la cantidad de trabajo considerado para realizar el proceso iterativo, se calculó la cantidad de veces que se necesitaba

ejecutar dicha cantidad de trabajo para completar el volumen de obra. Por ejemplo, si el volumen total de obra de la tarea de acarreo de bloques es de 1480 unidades (Caso 1) y conociendo que el acarreo de los bloques, el trabajador lo realizó de a 2 bloques a la vez; es decir, que se necesitaron 470 acarreos para completar el total de la tarea.

Tabla 23. Cantidad de trabajo para el cálculo de las duraciones de las tareas en la construcción de los modelos del concepto de Muro

ACT.	TAREAS	CASO	CANTIDAD	OBSERVACIONES
Muro de block	Armado de andamios	1 y 2	1 Unidad	Se consideró armar un andamio a la vez
	Acarreo de blocks	1 y 2	2 Bloques	El trabajador acarreo de a 2 bloques
	Pegado y verificación de escuadra de plantilla de block	1	160 Bloques	Se consideró el total del volumen para esta tarea ya que no necesita de andamio
	Pegado y verificación de escuadra de plantilla de block	2	100 Bloques	Se consideró el total del volumen para esta tarea ya que no necesita de andamio
	Pegado y nivelación de blocks	1 y 2	40 Bloques	Se consideró un lote de 40 bloques
	Acarreo de material para preparación de mortero	1 y 2	1 Cubeta	Se acarreo de a 1 cubeta a la vez
	Preparación de mortero	1 y 2	5 Cubetas	Se consideró un lote de 5 cubetas
	Acarreo de mortero	1 y 2	1 Cubeta	Se acarreo de a 1 cubeta a la vez
Castillo armado	Acarreo de material de cimbra	1 y 2	2 Tablas	Se acarreo de a 2 tablas a la vez.
	Cimbrado de castillos	1 y 2	1 Unidad	Se consideró una unidad de 0.795 m2
	Acarreo de material para preparación de concreto	1 y 2	1 Cubeta	Se acarreo de a 1 cubeta a la vez
	Preparación de concreto	1 y 2	5 Cubetas	Se consideró un lote de 5 cubetas
	Acarreo de concreto	1 y 2	1 Cubeta	Se acarreo de a 1 cubeta a la vez
	Colado de castillo armado	1 y 2	1 Unidad	Se consideró una unidad de 0.0596 m3
Cerramiento	Acarreo de material de cimbra	1 y 2	2 Tablas	Se acarreo de a 2 tablas a la vez.
	Cimbrado de cerramientos	1 y 2	1 Unidad	Se consideró una unidad de 0.660 m2
	Colocación de armex como acero de refuerzo	1 y 2	1 Unidad	Se consideró una unidad de 1.1 ml
	Acarreo de material para preparación de concreto	1 y 2	1 Cubeta	Se acarreo de a 1 cubeta a la vez
	Preparación de concreto	1 y 2	5 Cubetas	Se consideró un lote de 5 cubetas
	Acarreo de concreto	1 y 2	1 Cubeta	Se acarreo de a 1 cubeta a la vez
	Colado de cerramientos	1 y 2	1 Unidad	Se consideró una unidad de 0.036 m3
Varios	Descimbrado de elementos	1	44.04 m2	Se consideró el descimbrado total en m2
	Descimbrado de elementos	2	33.69 m2	Se consideró el descimbrado total en m2

## Continuación Tabla 23.

ACT.	TAREAS	CASO	CANTIDAD	OBSERVACIONES
Cadena de nivelación	Acarreo de material de cimbra	1 y 2	2 Tablas	Se acarreó de a 2 tablas a la vez.
	Colocación de armex como acero de refuerzo	1 y 2	1 Unidad	Se consideró una unidad de 2.44 ml
	Cimbrado de cadena de nivelación	1 y 2	1 Unidad	Se consideró una unidad de 0.732 m2
	Acarreo de material para preparación de concreto	1 y 2	1 Cubeta	Se acarreó de a 1 cubeta a la vez
	Preparación de concreto	1 y 2	5 Cubetas	Se consideró un lote de 5 cubetas
	Acarreo de concreto	1 y 2	1 Cubeta	Se acarreó de a 1 cubeta a la vez
	Colado de cadena de nivelación	1 y 2	1 Unidad	Se consideró una unidad de 0.0549 m3
	Armar Andamio	1 y 2	1 Unidad	Se consideró armar un andamio a la vez

De igual forma, para la construcción del modelo de simulación de Techo, se consideró la naturaleza iterativa de las actividades, por lo cual en la Tabla 24 se presenta la cantidad de trabajo que se consideró para el cálculo de las duraciones de las tareas del concepto de Techo.

Tabla 24. Cantidad de trabajo para el cálculo de las duraciones de las tareas en la construcción de los modelos del concepto de Techo

ACT.	TAREAS	CASO	CANTIDAD	OBSERVACIONES
Trabe de concreto armado	Acarreo de acero de refuerzo	1	16 kg	Se calculó sobre los kg totales de acero
	Acarreo de acero de refuerzo	2	16.3 kg	Se calculó sobre los kg totales de acero
	Habilitado de acero de refuerzo	1	16 kg	Se calculó sobre los kg totales de acero
	Habilitado de acero de refuerzo	2	16.3 Kg	Se calculó sobre los kg totales de acero
	Acarreo de material de cimbra	1 y 2	2 Tablas	Se acarrearón de a 2 tablas a la vez
	Cimbrado de trabe	1 y 2	1 m2	Se calculó por m2 de cimbra
	Colocación de acero de refuerzo	1 y 2	1 ml	Las trabes tienen la misma sección
	Acarreo de material para preparación de concreto	1 y 2	1 cubeta	Se acarreó de a una cubeta a la vez
	Preparación de concreto	1 y 2	5 cubetas	Se consideró un volumen de 5 cubetas
	Acarreo de concreto	1 y 2	1 cubeta	Se acarreó de a una cubeta a la vez
	Colado de trabe	1 y 2	1 unidad	Las trabes tienen la misma sección

Continuación Tabla 24

ACT.	TAREAS	CASO	CANTIDAD	OBSERVACIONES
Losa tipo de vigueta y bovedilla	Acarreo de viguetas	1 y 2	1 Unidades	Se acarrearón de a una vigueta a la vez
	Acarreo de bovedillas	1 y 2	2 Unidades	Se acarrearón de a dos bovedillas a la vez
	Izado de viguetas	1 y 2	1 Unidades	Se izaron las viguetas de a una a la vez
	Izado de bovedillas	1 y 2	1 Unidades	Se izaron las bovedillas de a una a la vez
	Apuntalamiento de losa	1 y 2	45.7 m <sup>2</sup>	Área total de apuntalamiento
	Habilitado de acero (perimetral)	1 y 2	30 cortes	Total de ml de acero habilitado
	Colocación de acero perimetral	1 y 2	30 varillas	Total de ml de acero perimetral
	Acarreo de material de cimbra	1 y 2	2 Tablas	Se acarrearón de a 2 tablas a la vez
	Cimbrado perimetral	1 y 2	13 m <sup>2</sup>	Área total de cimbra perimetral
	Colocación de malla electro-soldada	1 y 2	47 m <sup>2</sup>	Área total del Techo
	Colado de losa con concreto premezclado	1 y 2	47 m <sup>2</sup>	Área total del Techo

A partir de los datos de productividad de las tareas y las cantidades de trabajo de las tareas para cada caso de estudio, se procedió a calcular las posibles duraciones de las tareas para cada concepto de trabajo. Como ejemplo, se muestra la Tabla 25 con algunos datos de la tarea de colocación de armex como acero de refuerzo, que hace parte de las actividades de Cadena de nivelación y Cerramientos del concepto de trabajo de Muro para el cálculo de las duraciones de la tarea en los casos de estudio.

Tabla 25. Ejemplo del cálculo de las duraciones de las tareas estudiadas.

Tarea:	Colocación de Armex de refuerzo			Cadena de nivelación		Cerramiento	
a	b	c	d	e	f	g	h
Recurso asignado (N)	Cantidad de acero (ml)	Duración (min)	Productividad (ml /min) $[b/(a*c)]$	Volumen de obra Q (ml)	Duración D (MIN) $[d*(1/e)]$	Volumen de obra Q (ml)	Duración D (MIN) $[d*(1/g)]$
Oficial	2.0	1.5	1.33333	2.44	1.8300	1.10	0.8250
Oficial	1.0	1.0	1.00000	2.44	2.4400	1.10	1.1000
Oficial	1.5	1.0	1.50000	2.44	1.6267	1.10	0.7333

En el Apéndice C, se presentan las duraciones calculadas para cada una de las tareas estudiadas.

### 4.2.3 Identificación de la distribución de probabilidad de las duraciones de las tareas

Las duraciones de las tareas para cada caso de estudio, fueron llevadas al software Easyfit para la identificación de la distribución de probabilidad que más se ajuste al conjunto de datos. En la Tabla 26 se presentan las distribuciones y parámetros que más se ajustaron a las duraciones de las tareas del concepto de trabajo Techo. De igual forma en la Tabla 27 se presenta las distribuciones y parámetros de las duraciones de las tareas del concepto de trabajo de Muro.

Tabla 26. Distribución y parámetros de las duraciones del concepto de Techo

ACT.	TAREAS	CASO	DISTRIBUCIÓN	PARAMETROS
Trabe de concreto armado	Acarreo de acero de refuerzo	1	Triangular	$m=2.6348$ ; $a=1.3614$ ; $b=4.5074$
	Acarreo de acero de refuerzo	2	Triangular	$m=2.6842$ ; $a=1.3869$ ; $b=4.5917$
	Habilitado de acero de refuerzo	1	Lognormal	$\mu=3.3711$ ; $\alpha=0.25938$
	Habilitado de acero de refuerzo	2	Weibull	$\alpha=5.017$ ; $\beta=32.025$
	Acarreo de material de cimbra	1 y 2	Triangular	$m=0.4286$ ; $a=0.22144$ ; $b=0.73315$
	Cimbrado de trabe	1	Gamma	$\alpha=8.944$ ; $\beta=11.749$
	Cimbrado de trabe	2	Gamma	$\alpha=8.944$ ; $\beta=2.6109$
	Colocación de acero de refuerzo	1	Weibull	$\alpha=1.9106$ ; $\beta=11.17$
	Colocación de acero de refuerzo	2	Weibull	$\alpha=1.9106$ ; $\beta=8.53$
	Acarreo de material	1 y 2	Burr	$K=1.0178$ ; $\alpha=6.8791$ ; $\beta=1.3535$
	Preparación de concreto	1 y 2	Lognormal	$\mu=2.6002$ ; $\alpha=0.24427$
	Acarreo de concreto	1 y 2	Logistic	$\mu=0.69971$ ; $\alpha=0.11397$
	Colado de trabe	1 y 2	Weibull	$\alpha=4.8762$ ; $\beta=108.66$
Losa tipo de vigueta y bovedilla	Acarreo de viguetas	1	Triangular	$m=3.0$ ; $a=1.908$ ; $b=5.3346$
	Acarreo de viguetas	2	Logistic	$\mu=1.237$ ; $\alpha=0.30643$
	Acarreo de bovedillas	1	Beta	$\alpha_1=0.87587$ ; $\alpha_2=1.293$ ; $a=0.25$ ; $b=4.0565$
	Acarreo de bovedillas	2	Burr	$K=0.42002$ ; $\alpha=6.8888$ ; $\beta=0.24527$
	izado de viguetas	1 y 2	Beta	$\alpha_1=2.6904$ ; $\alpha_2=8.1086$ ; $a=2.7508$ ; $b=39.55$
	Izado de bovedillas	1 y 2	Burr	$K=34.692$ ; $\alpha=4.6908$ ; $\beta=1.6412$
	Apuntalamiento de losa	1	Gamma	$\alpha=24.717$ ; $\beta=4.4533$
	Habilitado de acero (perimetral)	1 y 2	Burr	$K=0.36724$ ; $\alpha=7.3114$ ; $\beta=12.306$
	Colocación de acero perimetral	1 y 2	Weibull	$\alpha=1.9521$ ; $\beta=14.936$
	Acarreo de material de cimbra	1 y 2	Triangular	$m=2.7857$ ; $a=1.4395$ ; $b=4.765$
	Cimbrado perimetral	1 y 2	Gamma	$\alpha=34.132$ ; $\beta=0.94003$
	Colocación de malla electro	1 y 2	Cauchy	$\mu=9.1356$ ; $\alpha=1.006$
	Colado de losa concreto premezclado	1 y 2	Logistic	$\mu=16.672$ ; $\alpha=2.3549$

Tabla 27. Distribución y parámetros de las duraciones del concepto de Muro.

ACT.	TAREAS	CASO	DISTRIBUCIÓN	PARAMETROS
Muro de block	Armado de andamios	1 y 2	Lognormal	$\mu=1.626$ ; $\alpha=0.38601$
	Acarreo de blocks	1 y 2	Logistic	$\mu=0.29935$ ; $\alpha=0.05277$
	Pegado y verificación de escuadra de plantilla de block	1	Burr	$K=0.22209$ ; $\alpha=11.624$ ; $\beta=213.48$
	Pegado y verificación de escuadra de plantilla de block	2	Burr	$K=0.22204$ ; $\alpha=11.626$ ; $\beta=133.42$
	Pegado y nivelación de blocks	1 y 2	Lognormal	$\mu=3.7895$ ; $\alpha=0.42285$
	Acarreo de material para preparación de mortero	1 y 2	Burr	$K=0.84627$ ; $\alpha=7.1306$ ; $\beta=0.6969$
	Preparación de mortero	1 y 2	Normal	$\mu=13.727$ ; $\alpha=4.861$
	Acarreo de mortero	1 y 2	Logistic	$\mu=0.43811$ ; $\alpha=0.0706$
Castillo armado	Acarreo de material de cimbra	1 y 2	Triangular	$m=0.4286$ ; $a=0.22144$ ; $b=0.73315$
	Cimbrado de castillos	1 y 2	Triangular	$m=14.684$ ; $a=8.4928$ ; $b=22.71$
	Acarreo de material para preparación de concreto	1 y 2	Burr	$K=0.84627$ ; $\alpha=7.1306$ ; $\beta=0.6969$
	Preparación de concreto	1 y 2	Normal	$\mu=13.847$ ; $\alpha=3.1187$
	Acarreo de concreto	1 y 2	Logistic	$\mu=0.43811$ ; $\alpha=0.0706$
	Colado de castillo armado	1 y 2	Uniforme	$a=8.1395$ ; $b=22.543$
Cerramiento	Acarreo de material de cimbra	1 y 2	Triangular	$m=0.4286$ ; $a=0.22144$ ; $b=0.73315$
	Cimbrado de cerramientos	1 y 2	Burr	$K=1.1057$ ; $\alpha=4.5487$ ; $\beta=15.843$
	Colocación de armex como acero de refuerzo	1 y 2	Lognormal	$\mu=0.53399$ ; $\alpha=0.62256$
	Acarreo de material para preparación de concreto	1 y 2	Burr	$K=0.84627$ ; $\alpha=7.1306$ ; $\beta=0.6969$
	Preparación de concreto	1 y 2	Normal	$\mu=13.847$ ; $\alpha=3.1187$
	Acarreo de concreto	1 y 2	Logistic	$\mu=0.43811$ ; $\alpha=0.0706$
	Colado de cerramientos	1 y 2	Lognormal	$\mu=2.7148$ ; $\alpha=0.30607$
Cadena de nivelación	Acarreo de material de cimbra	1 y 2	Triangular	$m=0.4286$ ; $a=0.22144$ ; $b=0.73315$
	Colocación de armex como acero de refuerzo	1 y 2	Weibull	$\alpha=1.9106$ ; $\beta=4.9555$ ; $Y=0$
	Cimbrado de cadena de nivelación	1 y 2	Burr	$K=0.06969$ ; $\alpha=41.54$ ; $\beta=15.669$
	Acarreo de material para preparación de concreto	1 y 2	Burr	$K=0.84627$ ; $\alpha=7.1306$ ; $\beta=0.6969$
	Preparación de concreto	1 y 2	Normal	$\mu=13.847$ ; $\alpha=3.1187$
	Acarreo de concreto	1 y 2	Logistic	$\mu=0.43811$ ; $\alpha=0.0706$
	Colado de cadena de nivelación	1 y 2	Lognormal	$\mu=3.0463$ ; $\alpha=0.3959$
	Armar Andamio	1 y 2	Lognormal	$\mu=1.626$ ; $\alpha=0.38601$
Total	Descimbrado de elementos	1	Weibull	$\alpha=3.6324$ ; $\beta=535.68$ ; $Y=0$
	Descimbrado de elementos	2	Weibull	$\alpha=3.6324$ ; $\beta=409.79$ ; $Y=0$

### 4.3 ETAPA 3. Análisis de simulación de actividades

#### 4.3.1 Construcción de los modelos de simulación

Se realizó la construcción de los modelos de simulación con base en los diagramas de flujo de procesos de los conceptos de trabajo Muro y Techo. Para la construcción de los modelos se utilizó el software Simphony versión 4.6.0.253, los elementos Task (Tareas) fueron alimentados con los parámetros correspondientes a las distribuciones de probabilidad que más se ajustaron al conjunto de datos de duración de las tareas estudiadas. En la Tabla 28 y 29 se puede observar los parámetros de entrada de los modelos de Muro y Techo respectivamente.

Tabla 28. Parámetros de entrada – Modelo de simulación Muro

ELEMENTO		PARÁMETROS DE ENTRADA - MODELO MURO		
Símbolo	Nombre	Caso 1		Caso 2
	Resource	Recurso: Oficial; Servers: 1		Recurso: Oficial; Servers: 1
		Recurso: Oficial Extra; Servers: 2		
	File	File: File Oficial		File: File Oficial
		File: File Oficial Extra		
	Create	Create: Create mortero; Quantity: 140		Create: Create mortero; Quantity: 91
		Create: Create block; Quantity: 740		Create: Create block; Quantity: 475
		Create: Create Plantilla; Quantity: 1		Create: Create Plantilla; Quantity: 1
		Create: Create Cimbra Castillo Quantity: 25		Create: Create Cimbra Castillo Quantity: 20
		Create: Create Concreto Castillo Quantity: 119		Create: Create Concreto Castillo Quantity: 35
		Create: Create Cimbra Cerramiento Quantity: 8		Create: Create Cimbra Cerramiento Quantity: 9
		Create: Create Concreto Cerramiento Quantity: 21		Create: Create Concreto Cerramiento; Quantity: 25
		Create: Create Cimbra Cadena Quantity: 23		Create: Create Cimbra Cadena Quantity: 16
Create: Create Concreto Cadena Quantity: 105		Create: Create Concreto Cadena Quantity: 80		
	Capture Resource	Del 1-13; File: File Oficial Resource: Oficial; Serv:1	Del 14-27; File: File Oficial Extra Resource: Oficial Extra Servers: 1	Del 1 al 27 File: File Oficial Resource: Oficial; Servers: 1
	Release Resource	Del 1-13 Resource: Oficial	Del 14-27 Resource: Oficial Extra	Del 1 al 27 Resource: Oficial Servers: 1

Continuación Tabla 28.

ELEMENTO		PARÁMETROS DE ENTRADA - MODELO MURO	
Símbolo	Nombre	Caso 1	Caso 2
	Task	Task: Acarreo Mat Mortero; Duration Type: Burr; Shape 1: 0.84627; Shape 2: 7.1306; Scale: 0.6969; Location: 0	
		Task: Preparar mortero; Duration Type: Normal; Mean: 13.727 ; StDev: 4.861	
		Task: Acarrear mezcla (Mortero, Concreto); Duration Type: Logistic; Location: 0.43811 ; Scale: 0.0706	
		Task: Acarrear blocks; Duration Type: Logistic; Location: 0.29935 ; Scale: 0.05277	
		Task: Armar andamio (Muro, Cadena); Duration Type: Lognormal; Location: 1.626 ; Shape: 0.38601	
		Task: Pegar block; Duration Type: Lognormal; Location: 3.7895 ; Shape: 0.42285	
		Task: Pegar plantilla; Duration Type: Burr Shape 1: 0.22209; Shape 2: 11.624; Scale: 213.4; Location: 0	
		Task: Acarrear cimbra (Castillos, Cerramiento y Cadena); Duration Type: Triangular Low: 0.22144; High: 0.73315; Mode: 0.4286	
		Task: Acarrear MatMezcla (Mortero y Concreto); Duration Type: Burr Shape 1: 0.84627; Shape 2: 7.1306; Scale: 0.6969; Location: 0	
		Task: Preparar Concreto (Castillo, Cerramiento y Cadena); Duration Type: Normal Mean: 13.847 ; StDev: 3.1187	
		Task: Cimbrar Castillo; Duration Type: Triangular; Low: 8.4928; High: 22.71; Mode: 14.684	
		Task: Colar Castillo; Duration Type: Uniform; Low: 8.1395; High: 22.543	
		Task: Cimbrar Cerramiento; Duration Type: Burr Shape 1: 1.1057; Shape 2: 4.5487; Scale: 15.843; Location: 0	
		Task: Colocar Armex Cerramiento; Duration Type: Lognormal Location: 0.53399 ; Shape: 0.62256	
		Task: Colar Cerramiento; Duration Type: Lognormal Location: 2.7148 ; Shape: 0.30607	
		Task: Colocar Armex Cadena; Duration Type: Weibull Shape 1: 1.9106; Scale: 4.9555; Location: 0	
		Task: Cimbrar Cadena; Duration Type: Burr Shape 1: 0.06969; Shape 2: 41.54; Scale: 15.669; Location: 0	
Task: Colar Cadena; Duration Type: Lognormal Location: 3.0463 ; Shape: 0.3959			
	Task	Task: Descimbrar elementos; Duration Type: Weibull; Shape 1: 3.6324; Scale: 535.68; Location: 0	Task: Descimbrar elementos; Duration Type: Weibull; Shape 1: 3.6324; Scale: 409.79; Location: 0
	Batch	Batch1 Quantity: 33	Batch1 Quantity: 21
		Batch2 Quantity: 25	Batch2 Quantity: 20
		Batch3 Quantity: 8	Batch3 Quantity: 9
		Batch4 Quantity: 7	
		Batch5 Quantity: 7	

Continuación Tabla 28.

ELEMENTO		PARÁMETROS DE ENTRADA - MODELO MURO	
Símbolo	Nombre	Caso 1	Caso 2
	Batch	Batch6 Quantity: 2	
		Batch7 Quantity: 7	
		Batch8 Quantity: 105	Batch8 Quantity: 80
	Generate	Generate1 Quantity: 5	
		Generate2 Quantity: 25	Generate2 Quantity: 20
		Generate3 Quantity: 5	
		Generate4 Quantity: 25	Generate4 Quantity: 20
		Generate5 Quantity: 5	
		Generate6 Quantity: 1	
		Generate7 Quantity: 5	
	Consolidate	Consolidate1 Quantity: 20	
		Consolidate2 Quantity: 1	
		Consolidate3 Quantity: 3	
		Consolidate4 Quantity: 1	
		Consolidate6 Quantity: 1	
		Consolidate7 Quantity: 3	
	Activator	Activator1 - Action: Open Condition: True Valve: Valve 1	
		Activator2 - Action: Open Condition: True Valve: Valve 2	
	Valve	Valve1 - AutoClose:0 InitialState: Closed	
		Valve2 - AutoClose:0 InitialState: Closed	
	Excute1	<pre> Condition:Public Partial Class Formulas     Public Shared Function Formula(ByVal Element As Simphony.General.Execute) As System.Boolean     Element.Scenario.GN(0)+=1     Element.CurrentEntity.LN(0)=Element.Scenario.GN(0)     Return True     End Function End Class </pre>	
	Conditional Branch1	<pre> Condition: Public Partial Class Formulas     Public Shared Function Formula(ByVal Element As Simphony.General.Branch) As System.Boolean     If Element.CurrentEntity.LN(0)&lt;=14 Then         Return True     Else         Return False     End if     End Function End Class </pre>	
	Counter	Counter: Muro Terminado; Limit: 1	

Tabla 29. Parámetros de entrada – Modelo de simulación Techo

Elemento		Parámetros de entrada - Modelo Techo	
Símbolo	Nombre	Caso 1	Caso 2
	Resource	Recurso: Oficial; Servers: 2	Recurso: Oficial; Servers: 1 Recurso: Peón; Servers: 1
	File	File: File Oficial	File: File Oficial File: File Peón
	Create	Create: Create Concreto Trabe Quantity: 35	
		Create: Create Cimbra Trabe Quantity: 4	Create: Create Cimbra Trabe Quantity: 1
		Create: Create Acero Trabe; Quantity: 3	
		Create: Create Viguetas; Quantity: 20	Create: Create viguetas; Quantity: 25
		Create: Create Acero Quantity: 1	
		Create: Create Acarreo bovedillas Quantity: 122	
		Create: Create Izado bovedillas Quantity: 1	
		Create: Create Acero Losa Quantity: 1	
Create: Create Cimbra Perimetral Quantity: 1			
	Capture resource	Del 1-10; 12; 14-23 File: File Oficial Resource: Oficial Servers: 1 El 11 y 13 File: File Oficial Resource: Oficial Servers: 2	Del 6, 8-13, 16-19; 21-23; File: File Oficial; Resource: Oficial; Servers: 1 Del 1-5, 7, 14, 20, 24-25; File: File Peón; Resource: Peón; Servers:1
		Del 1-10; 12; 14-23 Resource: 2 El 11 y 13 Resource: 2	Del 6, 8-13, 16-19; 21-23 Resource: Oficial Servers: 1 Del 1-5, 7, 14, 20, 24-25 Resource: Peón Servers: 1
	Release resource	Del 1-10; 12; 14-23 Resource: 2 El 11 y 13 Resource: 2	Del 6, 8-13, 16-19; 21-23 Resource: Oficial Servers: 1 Del 1-5, 7, 14, 20, 24-25 Resource: Peón Servers: 1
	Task	Task: Acarreo Mat Concreto; Duration Type: Burr; Shape1= 1.10178; Shape2= 6.8791 Scale=1.3535	
		Task: Preparar Concreto; Duration Type: Lognormal; Location=2.6002; Shape= 0.24427	
		Task: Acarrear concreto; Duration Type: Logistic; Location=0.69971; Scale= 0.11397	
		Task: Acarrear Cimbra; Duration Type: Gamma; Shape= 17.789; Scale= 0.12895	
		Task: Armar Andamio; Duration Type: Lognormal; Location= 1.5963; Shape= 0.3739	
		Task: Cimbrar Trabe; Duration Type: Gamma; Shape=8.944; Scale= 14.009	
		Task: Acarrear Acero; Duration Type: Triangular; Low= 1.3614; High= 4.5074; Mode= 2.6348	
		Task: Habilitado de Acero; Duration Type: Lognormal; Location= 3.3711; Shape= 0.25938	
		Task: Colocación de Acero; Duration Type: Weibulll; Shape= 1.9106; Scale= 111.17	
		Task: Colar Trabe; Duration Type: Weibulll; Shape= 4.8762; Scale= 108.66	

Continuación Tabla 29.

Elemento		Parámetros de entrada - Modelo Techo	
Símbolo	Nombre	Caso 1	Caso 2
	Task	Task: Acarrear viguetas; Duration Type: Gamma; Shape= 33.035; Scale=0.13957	Task: Acarrear viguetas; Duration Type: Triangular; Low= 0.422; High= 1.2448; Mode= 0.7
		Task: Andamio; Duration Type: LogNormal; Location= 1.5963; Shape= 0.3739	
		Task: Izar viguetas; Duration Type: Beta; Alpha= 2.6904; Beta= 8.1086; Low= 2.7508; High= 39.555	
		Task: Acarrear Bovedillas; Duration Type: Beta; Alpha= 0.8758; Beta= 1.293; Low= 0.25; High= 34.0565	Task: Acarrear Bovedillas; Duration Type: Beta; Alpha= 0.8758; Beta= 1.293; Low= 0.25; High= 4.0566
		Task: Izar Bovedillas; Duration Type: Burr; Shape1= 0.44276; Shape2=12.465; Scale=195.21	
		Task: Apuntalar Losa; Duration Type: Gamma; Shape= 24.717; Scale= 4.4533	
		Task: Habilitar Acero Perimetral; Duration Type: Chauchy; Location= 56.997; Scale= 8.0144	
		Task: Colocar AceroPerimetral; Duration Type: Weibulll; Shape= 1.97; Scale= 0.49965	
		Task: Colocar Malla; Duration Type: Cauchy; Location= 9.1356; Scale= 1.006	
		Task: Acarreo de Cimbrar Perimetral; Duration Type: Triangular; Low= 1.4395; High=4.765; Mode= 2.7857	
		Task: Cimbrado Perimetral; Duration Type: Gamma; Shape= 34.132 Scale= 0.94003	
		Task: Colar Losa; Duration Type: Logistic; Location= 16.672; Scale= 2.3549	
		Task: Tiempo de espera; Duration Type: Constante= 0	
		Task: Descimbrado; Duration Type: Constante= 0	
	Batch	Batch1 Quantity: 7	
		Batch2 Quantity: 3	
		Batch3 Quantity: 20	Batch3 Quantity: 25
		Batch4 Quantity: 20	Batch4 Quantity: 25
		Batch5 Quantity: 122	
	Generate	Generate1 Quantity: 5	
		Generate2 Quantity: 20	Generate2 Quantity: 25
	Consolidate	Consolidate1 Quantity: 15	
		Consolidate2, Consolidate3, Consolidate4, Consolidate5, Consolidate6; Quantity: 1	
	Activator	Activator1 Action: Open Condition: True Valve: Valve 1	
	Valve	Valve1 AutoClose: 0 InitialState: Opened	
	Counter	Counter: Techo Terminado; Limit: 1	

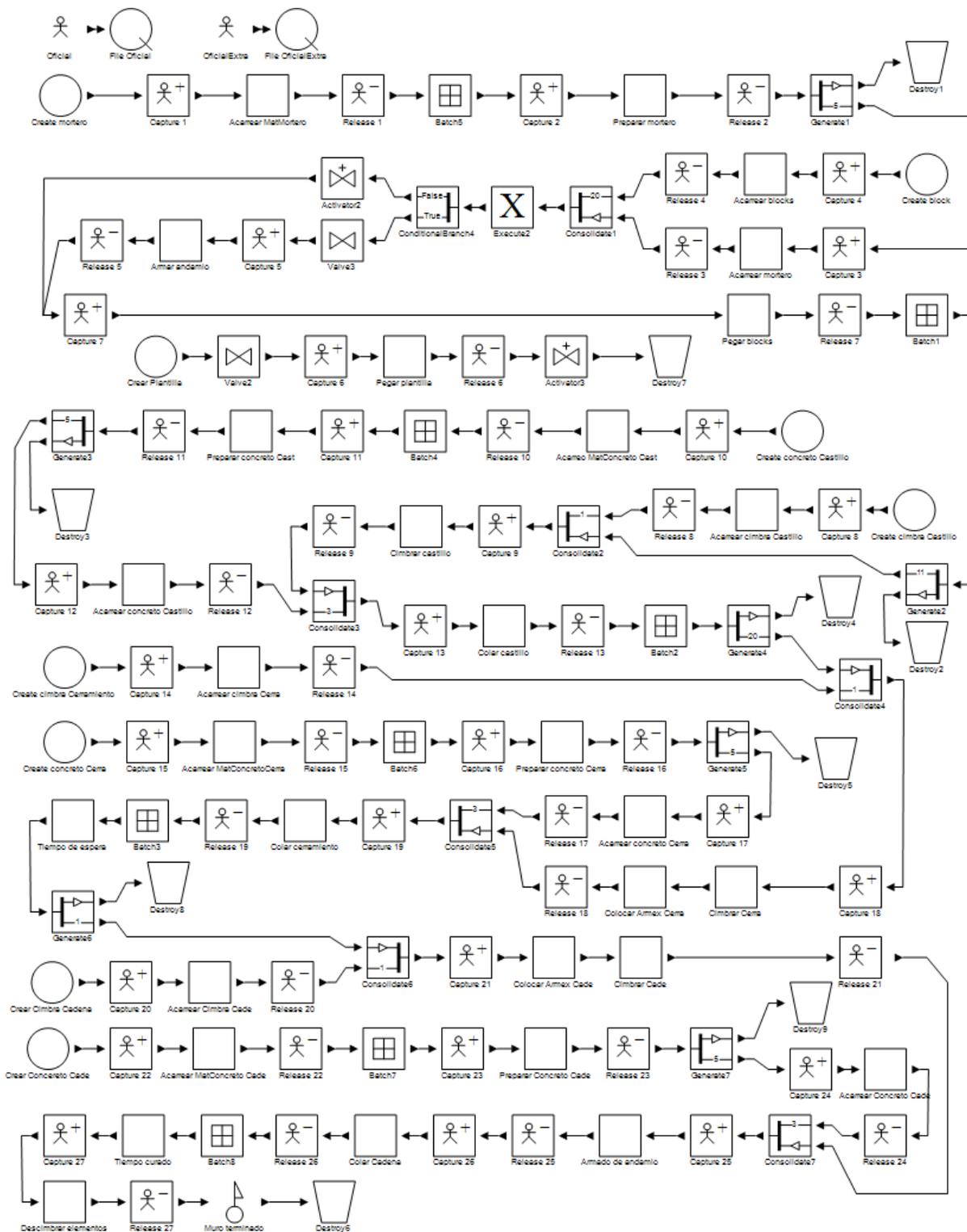


Figura 15. Modelo de simulación – Concepto de trabajo de Muro

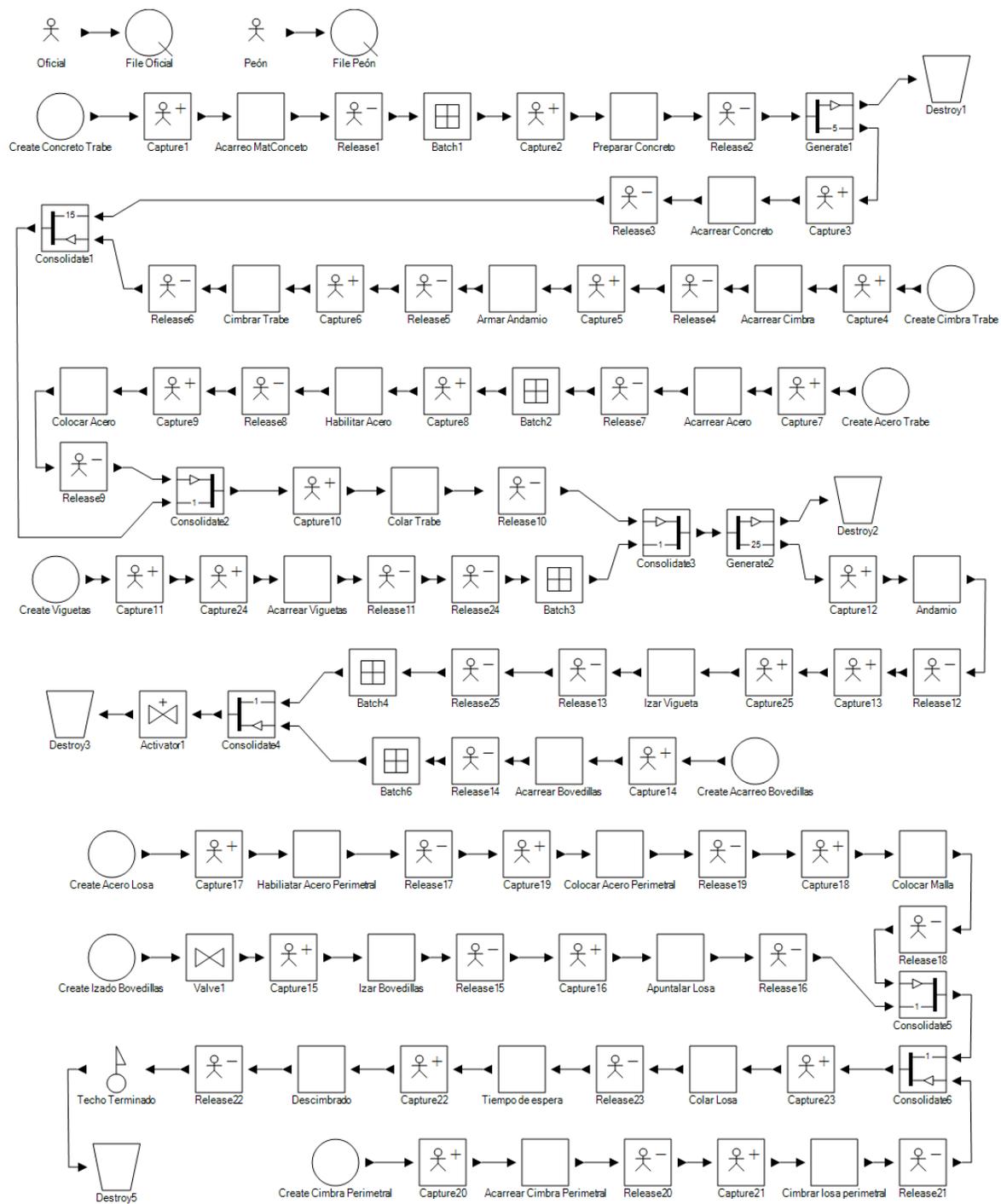


Figura 16. Modelo de simulación – Concepto de trabajo de Techo

### 4.3.2 Validación de los modelos de simulación

En la Tabla 30 se observa validación de los modelos de simulación. Se realizó la sumatoria del total de horas invertidas en la ejecución del concepto de trabajo desde su inicio hasta su terminación para cada caso de estudio, resultados obtenidos durante el muestreo del trabajo; este resultado fue comparado con la duración media de mil corridas del modelo de simulación para cada caso de estudio. A partir de esta comparación fue posible calcular el error absoluto para cada caso de estudio en los conceptos de trabajo estudiados.

Tabla 30. Validación de los modelos de simulación

Modelo	Duración Real del Concepto de Trabajo		Simulación (min)	Error absoluto (%)
	(Horas)	(Min)		
Muro – Caso 1	50.75	3045.00	3636.30	19.42
Muro – Caso 2	53.50	3210.00	3102.18	3.36
Techo – Caso 1	25.67	1540.20	1310.73	14.90
Techo – Caso 2	21.58	1294.80	1404.34	8.46

### 4.3.3 Experimentación de los diversos escenarios

En la Tabla 31 y Tabla 32 se pueden observar los resultados de los 36 diferentes escenarios (experimentos) variando la composición de las cuadrillas para los conceptos de trabajo de Muro y Techo. Los escenarios fueron modelados primero con cuadrillas conformadas por solo oficiales albañiles quienes eran los encargados de realizar todas las tareas del concepto de trabajo; seguido de esto se modelaron cuadrillas compuestas por oficiales albañiles (solo realizan trabajo directo) y ayudantes peones (solo realizan trabajo contributivo) y el mismo escenario con cuadrillas conformadas por oficiales de albañilería y ayudante media cucharas (realizan trabajo contributivo y algunos trabajos directos).

Tabla 31. Resultados de la experimentación del Modelo de Muro.

Composición de la cuadrilla		Duración de la Simulación [minutos]		Porcentaje de Utilización			
				Caso 1		Caso 2	
		Caso 1	Caso 2	Oficial	Ayudante	Oficial	Ayudante
Solo Oficiales	1O	4278.91	3129.18	100.0%	-	100.0%	-
	2O	2154.50	1583.84	99.0%	-	98.3%	-
	3O	1461.77	1337.04	97.7%	-	96.2%	-
	4O	1261.22	853.97	96.6%	-	94.3%	-
Oficiales y Peones	1O - 1P	3446.87	2554.25	81.3%	43.1%	76.9%	43.8%
	1O - 2P	3077.88	2242.42	90.1%	23.9%	88.1%	25.6%
	1O - 3P	2972.10	2146.81	93.1%	16.1%	91.7%	17.7%
	1O - 4P	3181.46	2113.93	94.3%	12.5%	93.4%	13.5%
	2O - 1P	2194.79	1847.73	63.8%	66.6%	54.5%	62.6%
	2O - 2P	1735.41	1341.06	80.4%	42.4%	75.3%	42.9%
	2O - 3P	1706.49	1190.98	85.3%	30.1%	82.5%	31.2%
	2O - 4P	1619.53	1147.06	88.0%	23.1%	85.7%	24.4%
	3O - 1P	1952.38	1576.96	48.6%	76.0%	42.3%	72.2%
	3O - 2P	1328.41	1043.10	72.1%	56.4%	62.6%	53.4%
	3O - 3P	1181.25	899.12	79.4%	41.3%	73.4%	41.9%
	3O - 4P	1131.89	852.97	82.8%	32.3%	78.4%	33.8%
	4O - 1P	1845.67	1505.06	39.2%	81.7%	34.1%	78.2%
	4O - 2P	1160.19	1123.38	62.8%	64.8%	52.7%	60.0%
	4O - 3P	1022.00	919.55	73.2%	50.9%	63.8%	48.9%
	4O - 4P	1069.47	701.20	77.5%	40.6%	71.6%	40.3%
Oficiales y Medias Cucharas	1O - 1MC	3007.81	2233.72	74.6%	67.0%	66.9%	71.8%
	1O - 2MC	2599.99	1788.05	86.2%	38.2%	82.2%	44.0%
	1O - 3MC	2492.47	1699.12	90.0%	26.6%	86.6%	31.2%
	1O - 4MC	2418.01	1689.03	92.1%	20.6%	88.9%	23.2%
	2O - 1MC	2164.81	1847.40	51.6%	89.9%	41.0%	86.6%
	2O - 2MC	1599.18	1142.54	72.4%	65.3%	64.8%	69.5%
	2O - 3MC	1381.33	1011.44	80.7%	47.6%	74.0%	52.2%
	2O - 4MC	1406.07	950.51	83.3%	37.2%	77.9%	42.3%
	3O - 1MC	2102.74	1714.31	35.7%	94.9%	29.1%	92.9%
	3O - 2MC	1216.11	995.48	60.9%	81.3%	49.8%	78.8%
	3O - 3MC	1026.82	858.89	71.9%	63.7%	62.7%	66.7%
	3O - 4MC	964.55	717.76	77.2%	50.7%	68.5%	55.8%
	4O - 1MC	2012.09	1828.95	27.7%	97.4%	22.0%	94.4%
	4O - 2MC	1106.21	947.43	50.6%	87.0%	39.3%	83.6%
	4O - 3MC	941.47	715.32	62.5%	74.5%	51.6%	73.6%
	4O - 4MC	792.67	728.67	70.0%	62.5%	59.0%	63.3%

Tabla 32. Resultados de la experimentación del Modelo de Techo.

Composición de la cuadrilla		Duración de la Simulación [minutos]		Porcentaje de Utilización			
				Caso 1		Caso 2	
		Caso 1	Caso 2	Oficial	Ayudante	Oficial	Ayudante
Solo Oficiales	2O	1296	1068	97.8%	-	83.6%	-
	3O	951	819	86.4%	-	96.1%	-
	4O	804	700	86.9%	-	86.3%	-
Oficiales y Peones	1O - 1P	1854	1594	100.0%	24.2%	100.0%	25.0%
	1O - 2P	1685	1287	100.0%	13.4%	100.0%	14.1%
	1O - 3P	1625	1203	100.0%	9.3%	100.0%	9.9%
	1O - 4P	1617	1179	100.0%	7.0%	100.0%	7.6%
	2O - 1P	1247	945	99.4%	50.7%	100.0%	50.9%
	2O - 2P	1028	776	99.3%	30.6%	99.9%	31.3%
	2O - 3P	971	725	99.0%	21.7%	99.9%	22.6%
	2O - 4P	952	691	99.2%	16.7%	99.9%	17.7%
	3O - 1P	1095	885	95.6%	59.2%	93.8%	60.9%
	3O - 2P	884	720	88.6%	39.0%	88.1%	44.9%
	3O - 3P	818	677	87.3%	28.5%	86.7%	32.5%
	3O - 4P	777	628	87.0%	22.2%	86.1%	25.5%
	4O - 1P	1015	872	92.6%	63.8%	88.9%	65.4%
	4O - 2P	807	710	83.2%	42.8%	77.6%	45.7%
4O - 3P	731	644	78.2%	31.9%	70.8%	33.6%	
4O - 4P	702	619	76.8%	25.1%	69.1%	25.9%	
Oficiales y Medias Cucharas	1O - 1MC	1722	1247	100.0%	36.0%	100.0%	52.4%
	1O - 2MC	1497	1036	100.0%	24.2%	100.0%	31.4%
	1O - 3MC	1434	973	99.9%	17.0%	99.9%	22.5%
	1O - 4MC	1393	947	99.9%	13.1%	99.9%	17.4%
	2O - 1MC	1288	1029	96.3%	68.4%	94.5%	77.2%
	2O - 2MC	1041	806	94.7%	44.5%	93.2%	52.9%
	2O - 3MC	1022	735	93.7%	32.4%	92.5%	39.4%
	2O - 4MC	978	706	93.2%	25.3%	92.1%	31.4%
	3O - 1MC	978	957	93.2%	25.3%	90.4%	81.2%
	3O - 2MC	899	790	85.6%	53.3%	83.7%	63.2%
	3O - 3MC	805	670	82.7%	39.5%	80.0%	47.0%
	3O - 4MC	771	737	81.0%	31.2%	77.4%	37.1%
	4O - 1MC	1087	1076	91.5%	79.9%	86.2%	82.9%
	4O - 2MC	824	738	81.9%	57.4%	76.7%	63.8%
4O - 3MC	733	670	75.0%	43.2%	66.9%	47.3%	
4O - 4MC	697	684	72.3%	34.4%	63.6%	37.5%	

#### 4.3.3.1 Resultados de duración y porcentaje de utilización

- **Concepto de trabajo Muro**

A continuación, se presentan la comparación de la duración promedio de los dos casos de estudio del concepto de trabajo según la composición de las cuadrillas.

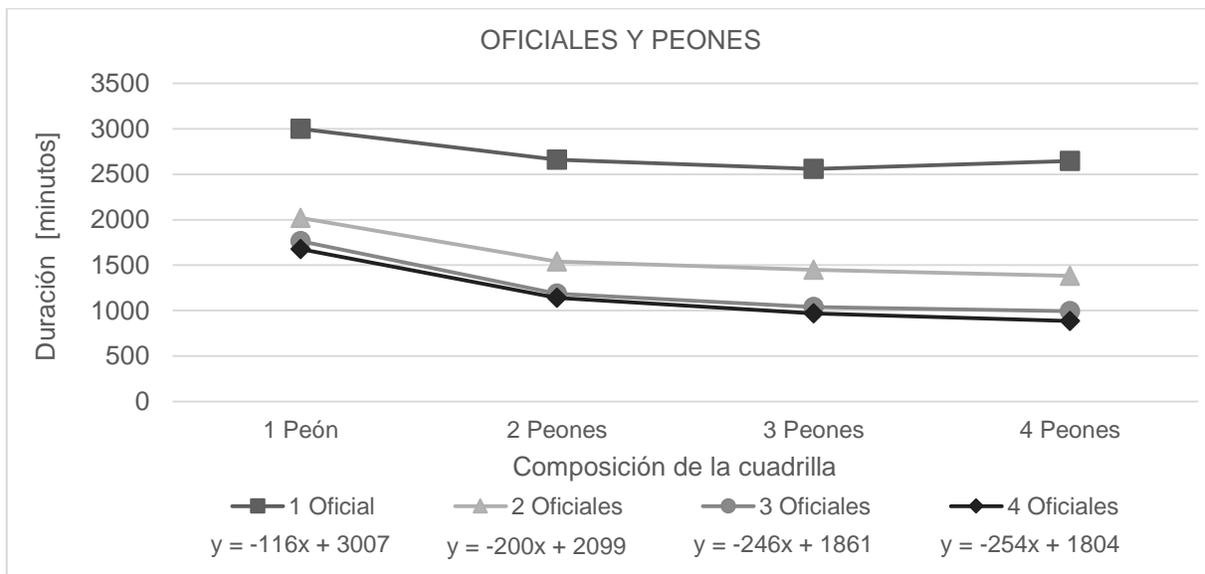


Figura 17. Duración vs. Composición de la cuadrilla con oficiales y peones en el concepto Muro

En la Figura 17 se observa que, cuando se mantiene la cantidad de oficiales constantes y se va aumentando la cantidad de peones que conforman la cuadrilla, la duración del concepto de trabajo tiende a disminuir con una pendiente media de -204 minutos por cada peón adicional. Por otra parte, se puede observar que cuando la cuadrilla está compuesta por 1 solo oficial, la duración es mayor que en los otros escenarios, lo cual significa que son más eficientes las cuadrillas de 3 a 4 oficiales. A su vez en la Figura 18 se aprecia que con una composición de cuadrilla de 4 oficiales y 4 peones se obtiene la menor duración del concepto de trabajo, sin embargo, la variación de la duración de ésta cuadrilla con respecto a la cuadrilla compuesta por 3 oficiales y 4 peones no es significativa, por lo cual se concluye que teniendo solo en cuenta el criterio de la duración, el mejor escenario se presenta en cuadrillas compuesta por 3 oficiales y 4 peones.

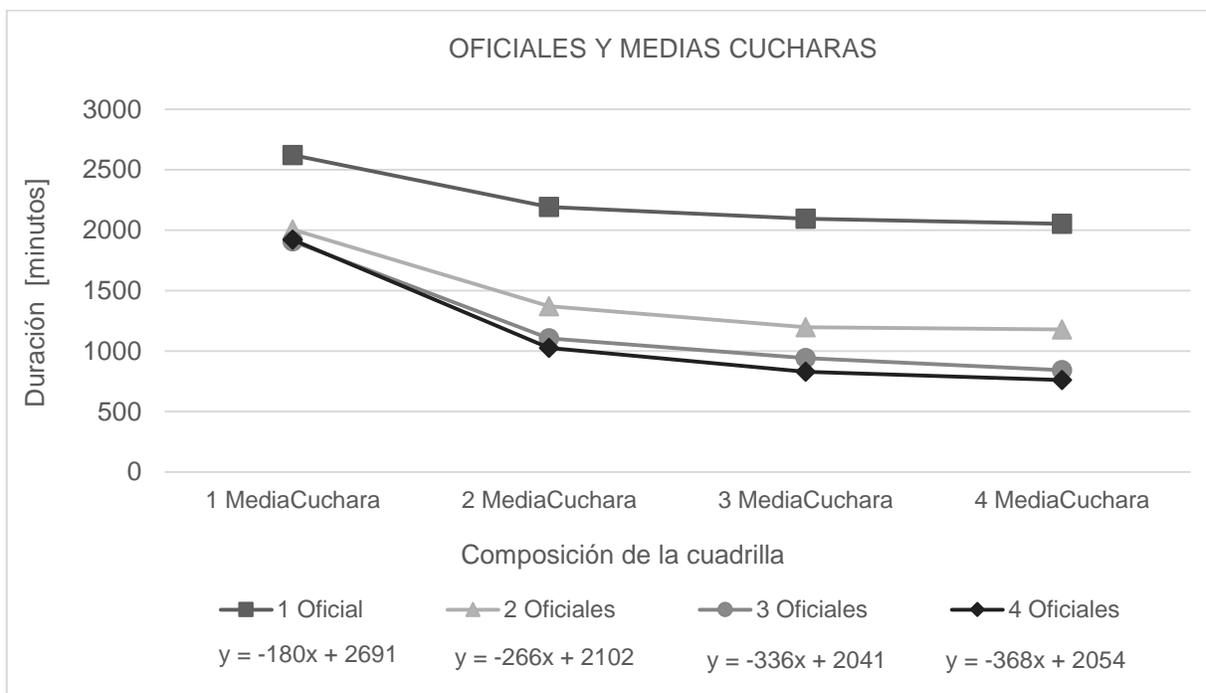


Figura 18. Duración vs. Composición de la cuadrilla con oficiales y medias cucharas en el concepto muro

De igual forma se analizó el escenario en el cual las cuadrillas estuvieran compuestas por oficiales y medias cucharas (Figura 18), en donde se observa que al mantener la cantidad de oficiales constante y aumentar la cantidad de medias cucharas que conforman la cuadrilla, la duración de la ejecución del concepto de trabajo tiende a disminuir con una pendiente media de -287 minutos por cada media cuchara adicional.

Adicionalmente se observa en la Figura 18, que presentan un mejor desempeño las cuadrillas compuesta por 3-4 oficiales y de 3-4 medias cucharas; sin embargo, no se observa una diferencia significativa entre ambas cuadrillas, por lo cual se puede concluir que se presenta una mejor relación duración - cantidad de trabajadores, cuando las cuadrillas están compuesta por 3 oficiales y 4 medias cucharas

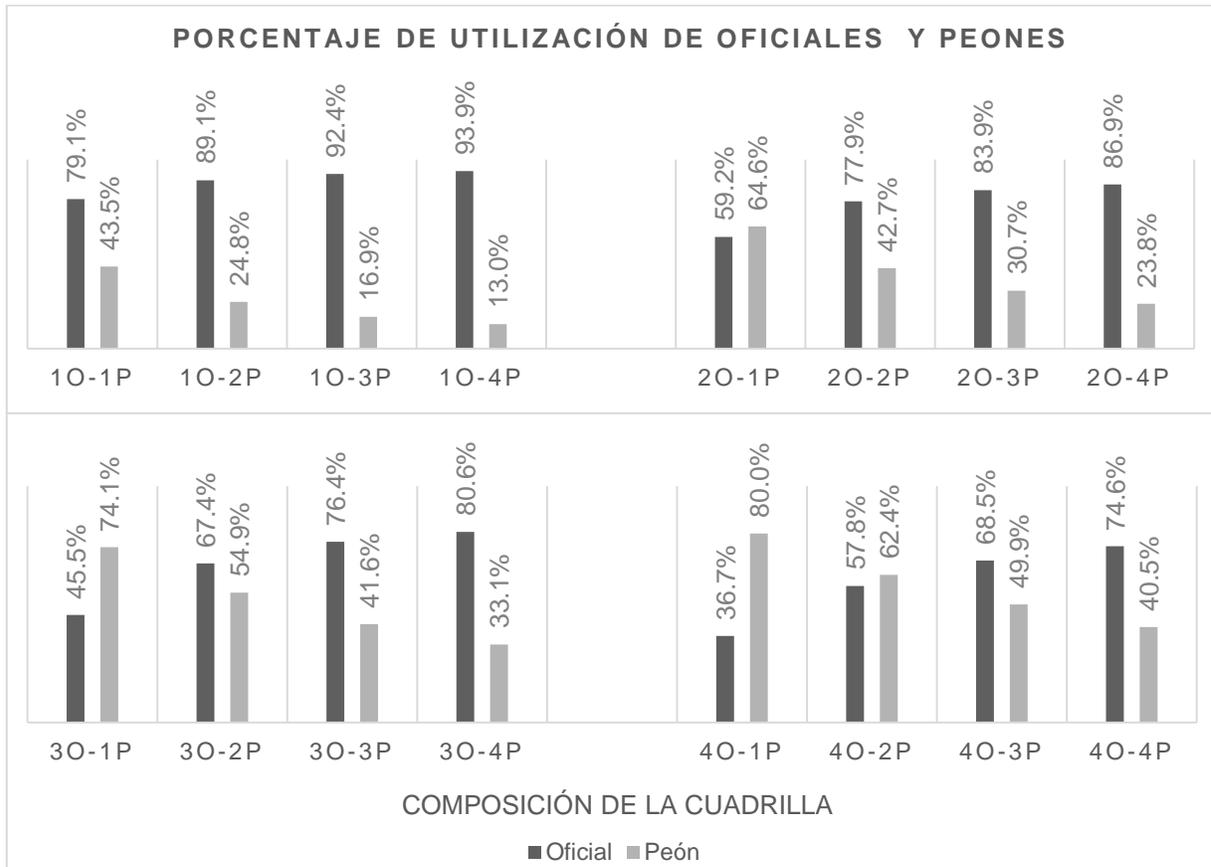


Figura 19. Porcentaje de utilización de cuadrillas compuestas por oficiales y peones en concepto de muro

En la Figura 19 se presenta el porcentaje de utilización de los recursos en los 16 escenarios de composiciones de cuadrillas de oficiales y peones, donde se observa que cuando la cantidad de oficiales se mantiene constante y se aumenta la cantidad de peones que conforma la cuadrilla, el porcentaje de utilización de los peones tiende a disminuir, mientras que el porcentaje de utilización de los oficiales tiende a aumentar.

Por otra parte, en la Figura 19 se observa que cuando la cuadrilla está compuesta por 2-4 oficiales y 1 solo peón, el porcentaje de utilización de los Oficiales es más bajo que el de los Peones, mientras que en los otros escenarios los Oficiales tienen un mayor porcentaje de utilización.

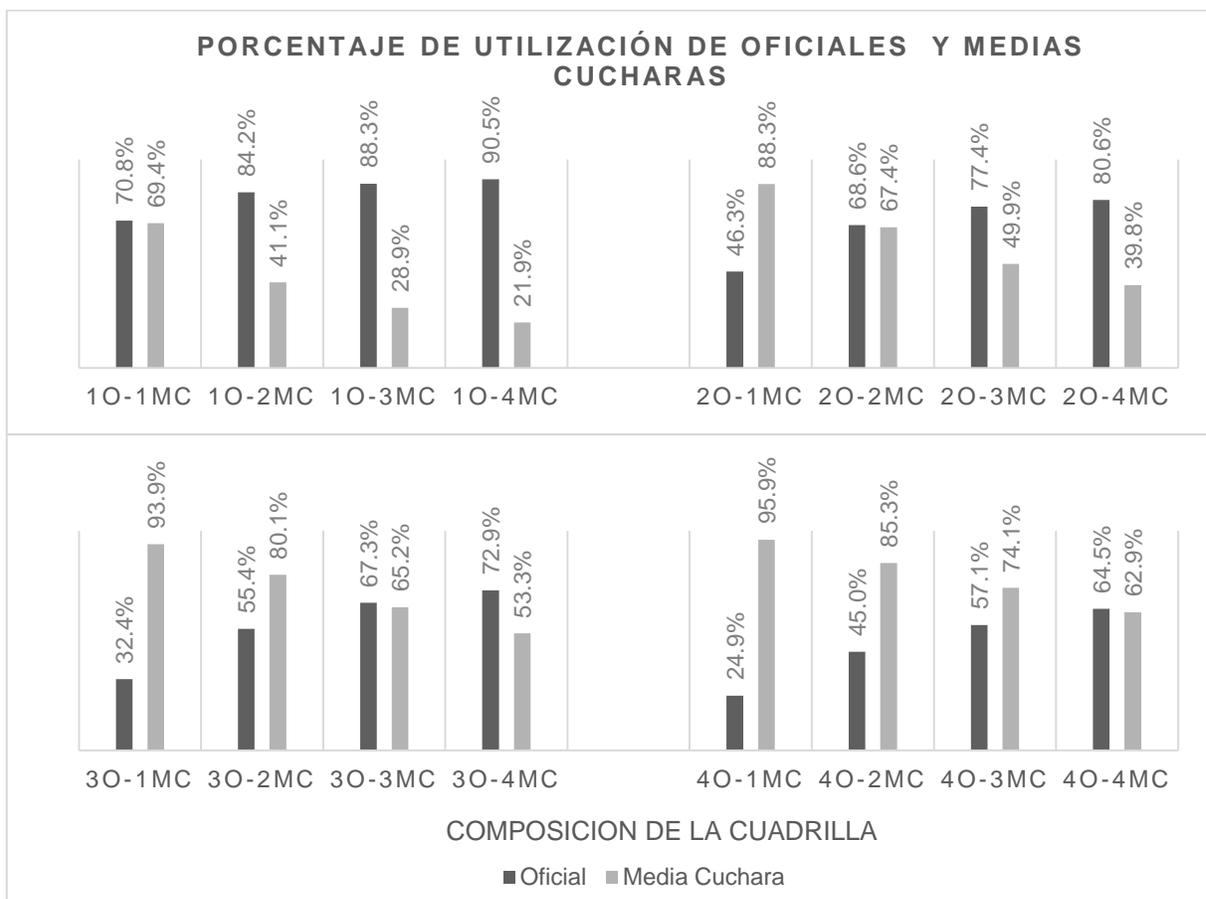


Figura 20. Porcentaje de utilización de cuadrillas compuestas por oficiales y medias cucharas en concepto de muro

En la Figura 20 se presenta el porcentaje de utilización de las cuadrillas conformadas por oficiales y medias cucharas; se observa que cuando la cantidad de oficiales y medias cucharas es la misma (1O-1MC, 2O-2MC, 3O-3MC y 4O-4MC), el porcentaje de utilización de ambos recursos se mantiene aproximadamente igual entre 70% y 62%.

Por otra parte, se observa en la Figura 20 que cuando la cantidad de oficiales es mayor que la cantidad de medias cucharas que conforman las cuadrilla, el porcentaje de utilización de los oficiales es más bajo que el de los medias cucharas.

Por último, se modeló el escenario en el cual las cuadrillas estuvieran compuestas solo por oficiales, lo cual se muestra en la Figura 21.

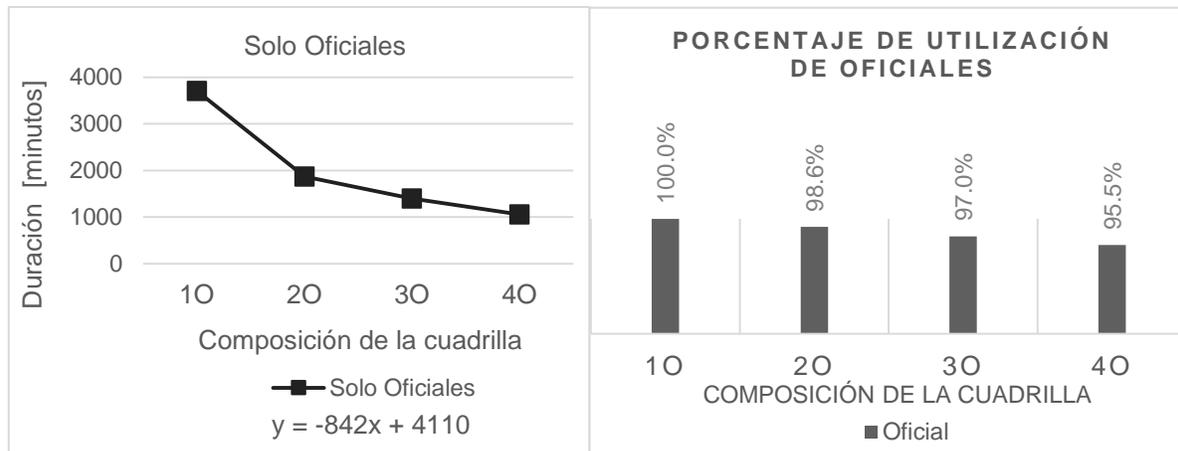


Figura 21. Duración y porcentaje de utilización de cuadrilla de solo oficiales en concepto de muro

En la Figura 21 se observa que al aumentar la cantidad de oficiales que conforman la cuadrilla hay una disminución de la duración del concepto de trabajo de -842 minutos por cada oficial adicional. Por otra parte, se puede observar que, al aumentar la cantidad de oficiales, el porcentaje de utilización de este recurso tiende a disminuir levemente. Sin embargo, comparando los escenarios anteriormente de cuadrillas compuestas por oficiales-peones y oficiales-medias cucharas, se puede resaltar que cuando las cuadrillas están compuestas por solo oficiales el porcentaje de utilización de este recurso es mayor que en los escenarios donde la cuadrilla está compuesta por oficiales y ayudantes.

De igual forma, en cuanto a la duración, se puede concluir que en cuadrillas conformadas solo por oficiales (3-4) alcanza un mejor desempeño con relación a la cantidad de trabajadores que conforman la cuadrilla que el alcanzado por cuadrillas de oficiales-peones y oficiales-medias cucharas.

- **Concepto de trabajo Techo**

A continuación, se presenta la comparación de la duración promedio de los dos casos de estudio del concepto de trabajo según la composición de las cuadrillas.

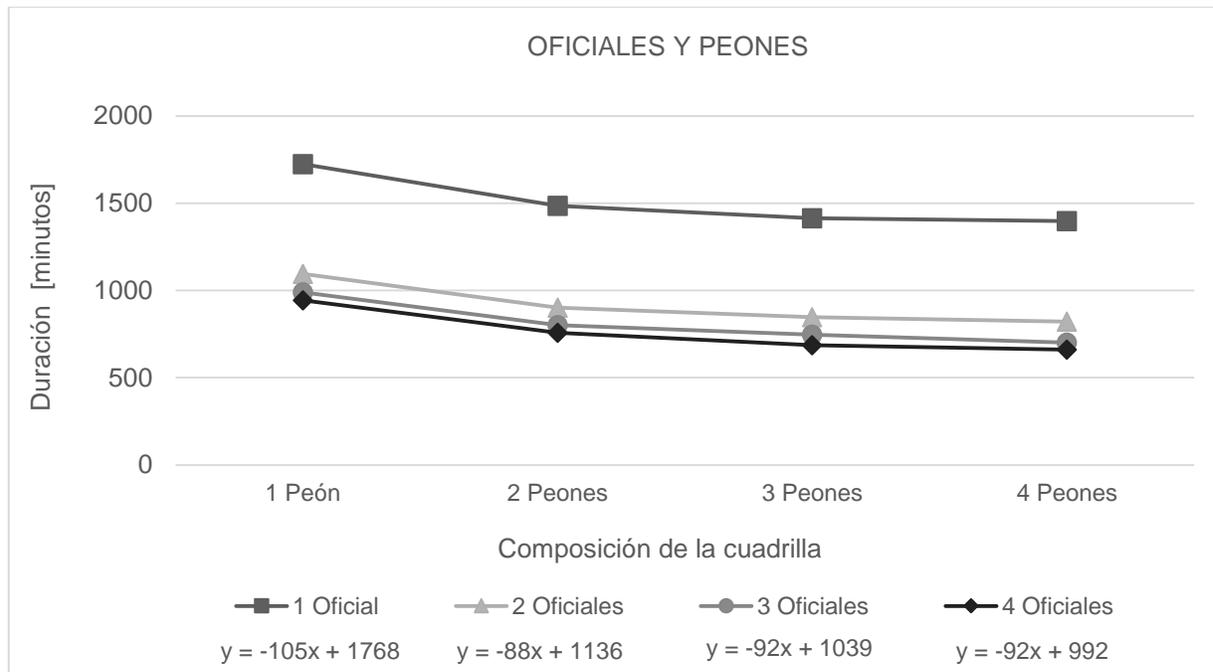


Figura 22. Duración vs. Composición de la cuadrilla con oficiales y peones en concepto de techo

En la Figura 22 se observa que cuando se mantiene la cantidad de oficiales constante y se va aumentando la cantidad de peones que conforman la cuadrilla en la ejecución del concepto de techo, la duración tiende a disminuir con una pendiente media de -94 minutos por cada peón adicional. Por otra parte, se puede observar que cuando la cuadrilla está compuesta por 1 solo oficial y 1-4 peones, la duración es significativamente más alta que en los otros escenarios, lo cual significa que son más eficientes las cuadrillas compuesta entre 2 a 4 Oficiales y 1-4 peones; sin embargo, la variación de la duración entre estas cuadrillas no significativa. Por lo anterior, se puede concluir que teniendo solo en cuenta el criterio de la duración, el mejor escenario se presenta cuando la cuadrilla está compuesta por 3 Oficiales y 4 Peones.

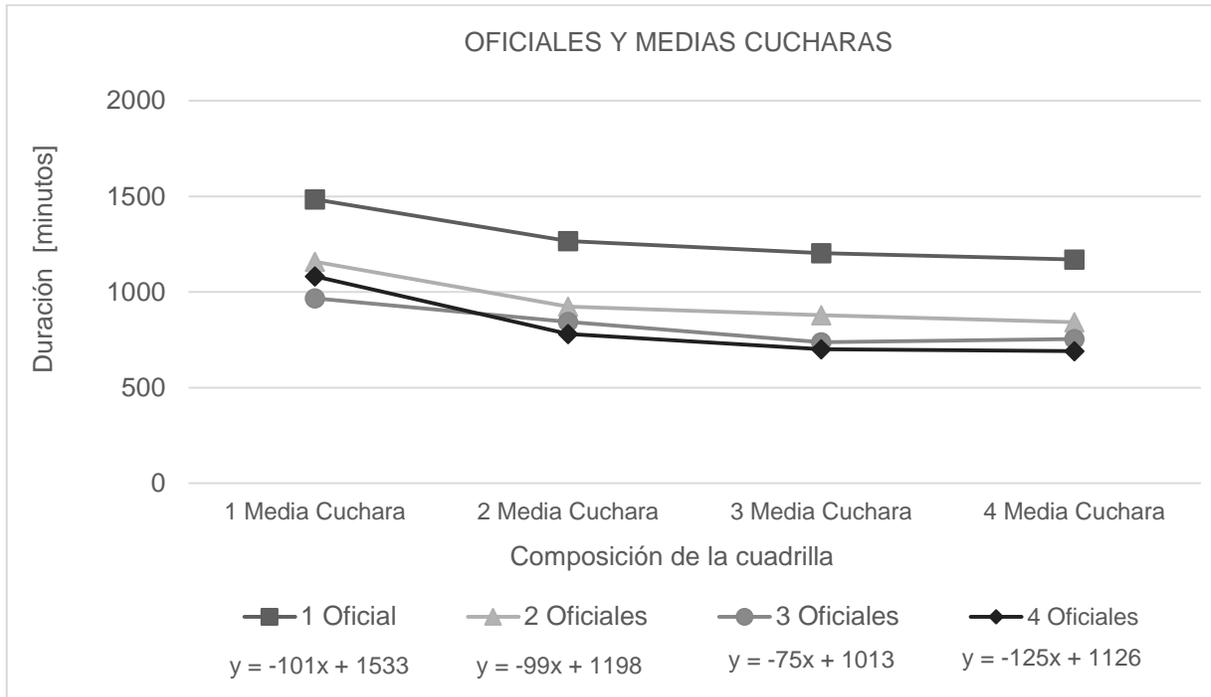


Figura 23. Duración vs. Composición de la cuadrilla con oficiales y media cuchara en concepto de techo

En la Figura 23 se presentan las cuadrillas conformadas por oficiales y medias cucharas en la ejecución del concepto de trabajo de techo, donde se observa que cuando se mantiene la cantidad de oficiales constante y se va aumentando la cantidad de medias cucharas que conforman la cuadrilla, la duración tiende a disminuir con una pendiente media de -100 minutos por cada media cuchara adicional. Por otra parte, se puede observar que son más eficientes las cuadrillas compuesta entre 3 a 4 oficiales; sin embargo, la variación de la duración entre estas cuadrillas no es significativa, por lo cual, se puede concluir que teniendo solo en cuenta el criterio de la duración y la cantidad de trabajadores que conforman la cuadrilla, el escenario de cuadrillas compuesta por oficiales y medias cucharas que presenta el mejor resultado es la cuadrilla compuesta por 3 oficiales y 3 medias cucharas.

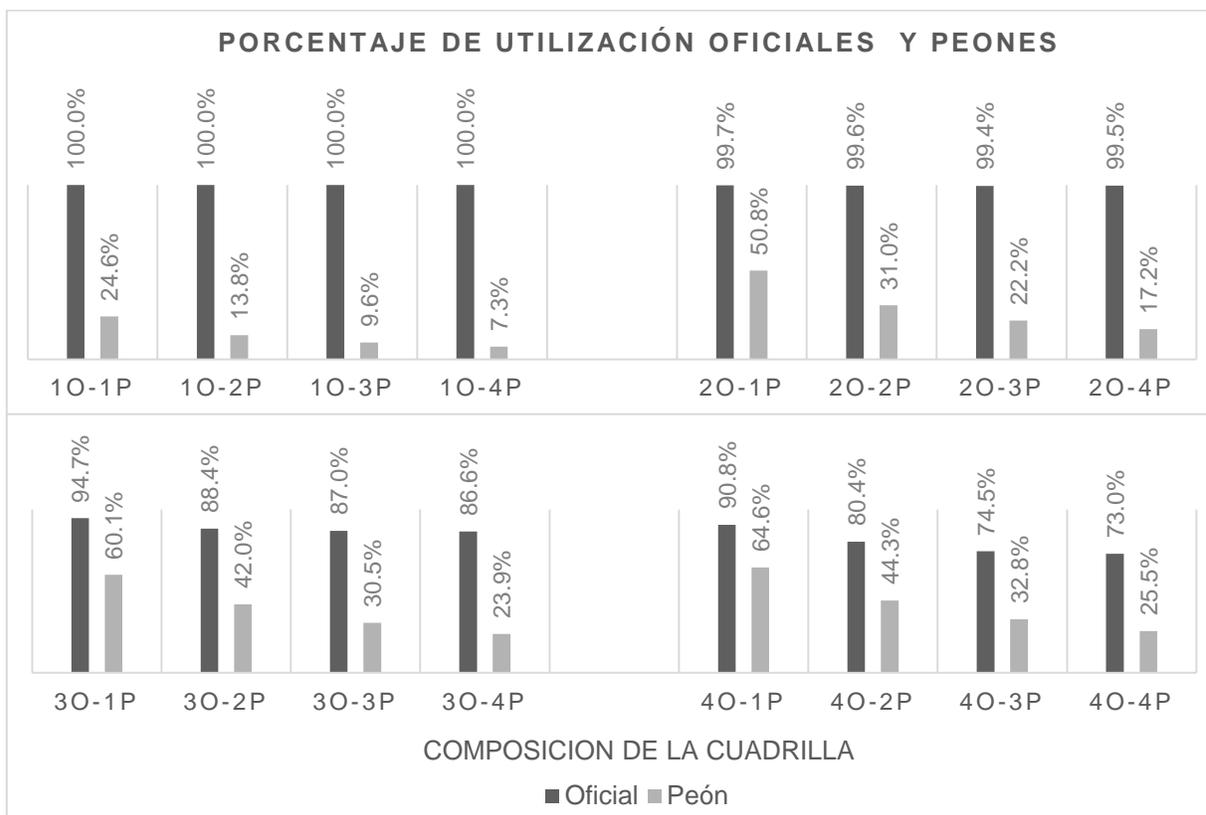


Figura 24. Porcentaje de utilización de cuadrillas compuestas por oficiales y peones para el concepto de techo

En la Figura 24 se presenta el porcentaje de utilización de los recursos en los 16 escenarios de composiciones de cuadrillas de oficiales y peones, en la ejecución del concepto de trabajo de techo. Se puede observar que cuando la cantidad de oficiales es de 1-2 y se aumenta la cantidad de peones que conforma la cuadrilla, el porcentaje de utilización de los peones tiende a disminuir, mientras que el porcentaje de utilización de los oficiales se mantiene constante; sin embargo, cuando la cuadrilla está compuesta por 3-4 Oficiales y se va aumentando la cantidad de peones, el porcentaje de utilización de ambos recursos tiende a disminuir.

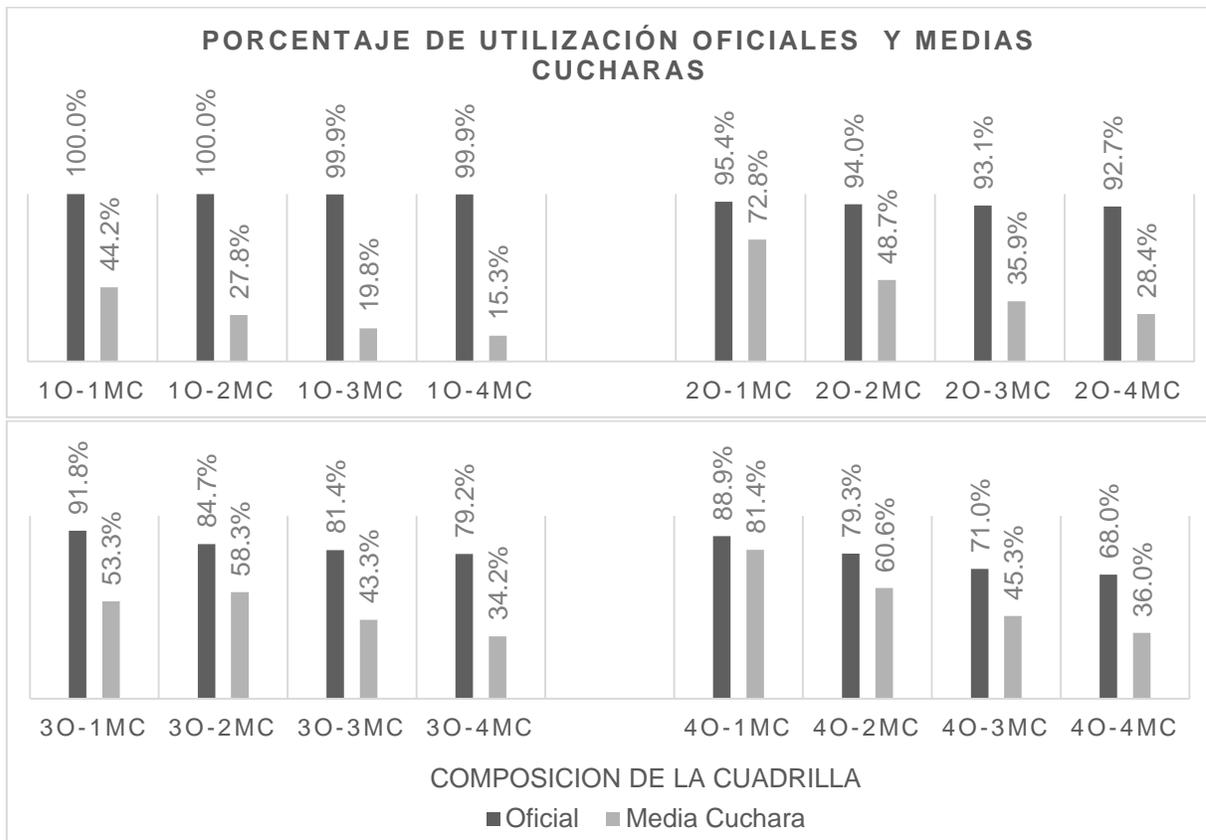


Figura 25. Porcentaje de utilización de cuadrillas compuestas por oficiales y medias cucharas en concepto de techo

En la Figura 25 se muestra la comparación de las cuadrillas compuestas por oficiales y medias cucharas para el concepto de Techo. Se puede observar que, cuando la cuadrilla está compuesta por 1 solo oficial y se va aumentando la cantidad de medias cucharas (1-4) que conforma la cuadrilla, el porcentaje de utilización de los medias cucharas tiene a disminuir, mientras que el porcentaje de utilización de los oficiales se mantiene constante.

Por otra parte, cuando la cuadrilla está compuesta por 2-4 oficiales y se va aumentando la cantidad de medias cucharas (1-4), el porcentaje de utilización de ambos recursos tiende a disminuir.

De igual forma se graficó el escenario en el cual la cuadrilla estuviera compuesta por solo oficiales quienes eran los encargados de realizar todas las tareas del concepto de trabajo de techo, lo cual se presenta la Figura 26.

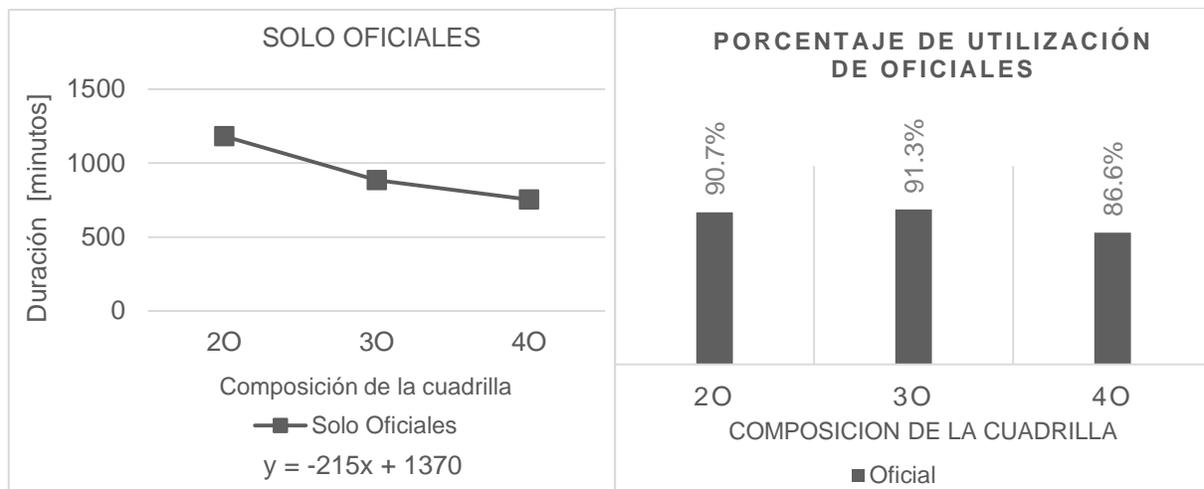


Figura 26. Duración y porcentaje de utilización de cuadrilla de solo oficiales en concepto de techo

En la Figura 26 se observa que al aumentar la cantidad de oficiales que conforman la cuadrilla hay una disminución de la duración del concepto de trabajo de -215 minutos por cada oficial adicional. De igual forma, se puede observar que, el porcentaje de utilización de este recurso tiende a disminuir cuando la cuadrilla está compuesta por 4 oficiales.

Finalmente, comparando los resultados de los tres escenarios (oficiales-peones, oficiales-medias cucharas y solo oficiales), los porcentajes de utilización más altos de los oficiales se presentan en cuadrillas conformadas por 1-2 oficiales y de 1-2 peones (ver Figura 25).

## 4.4 Análisis de los resultados

Los resultados de la experimentación de los modelos de Muro y Techo fueron analizados mediante las variables de duración de la ejecución del concepto de trabajo y el porcentaje de utilización de los recursos de una manera aislada. Sin embargo, en este capítulo se analizaron las dos variables (duración y porcentaje de utilización) de manera conjunta, con el propósito de identificar cual fue la composición de las cuadrillas en la ejecución de los conceptos de trabajo estudiados.

### 4.4.1 Concepto de trabajo Muro

Asumiendo una igualdad en la ponderación de los factores de duración y porcentaje de utilización de los recursos, se identificaron las diez mejores composiciones de cuadrillas para la ejecución del concepto de trabajo Muro.

Tabla 33. Mejores composiciones de cuadrillas para el concepto de Muro bajo las variables de duración y porcentaje de utilización.

Escenario	Cuadrilla		Duración [Jornales ]	% de Utilización Oficial	% de Utilización Ayudante	Posición
	Oficial	Ayudante				
O	4	0	2.203	95.5%	-	1
O	3	0	2.915	97.0%	-	2
O-MC	4	3	1.726	57.1%	74.1%	3
O-MC	4	4	1.585	64.5%	62.9%	4
O-MC	3	4	1.752	72.9%	53.3%	5
O-MC	3	3	1.964	67.3%	65.2%	6
O-MC	4	2	2.139	45.0%	85.3%	7
O	2	0	3.894	98.7%	-	8
O-P	3	4	2.068	80.6%	33.1%	9
O-P	4	4	1.844	74.6%	40.5%	10

Como se observa en la Tabla 33, los dos mejores escenarios en relación a la duración y porcentaje de utilización se presentan cuando la cuadrilla de trabajo está compuesta solo por oficiales albañiles (3-4). Esto se debe a que con esta composición de la cuadrilla y teniendo en cuenta la cantidad de trabajadores se alcanza una duración competente sin sacrificar el porcentaje de utilización de los oficiales que permanece arriba del 95%. De igual forma, la cuadrilla compuesta por 2

oficiales albañiles ocupó la posición número 8. Esto se debe a que es el escenario con mejor porcentaje de utilización (98.8%); sin embargo, se puede apreciar que obtuvo la duración más alta de los 10 escenarios destacados.

Por otra parte, se observa en la Tabla 33 que las cuadrillas compuestas por oficiales y ayudantes (peones o medias cucharas) alcanzan duraciones más bajas en la ejecución del concepto del trabajo; sin embargo el porcentaje de utilización de los recursos es más bajo (45%<oficiales<80% y 33%<ayudantes<85%). De igual forma, para estos casos se consideró que un tamaño de cuadrilla de entre 6 y 8 trabajadores era muy grande para el tipo de vivienda estudiada.

#### 4.4.2 Concepto de trabajo Techo

Asumiendo una igualdad en la ponderación de los factores de duración y porcentaje de utilización, se identificaron las diez mejores composiciones de cuadrillas para la ejecución del concepto de trabajo Techo.

Tabla 34. Mejores composiciones de cuadrillas para el concepto de Techo bajo las variables de duración y porcentaje de utilización.

Escenario	Cuadrilla		Duración [Jornales]	% de Utilización Oficial	% de Utilización Ayudante	Posición
	Oficial	Ayudante				
O-P	2	1	2.2833	99.70%	50.80%	1
O-P	3	1	2.0618	94.70%	60.05%	2
O-MC	2	2	1.9233	93.95%	48.70%	3
O-P	4	1	1.9647	90.75%	64.60%	4
O-MC	2	1	2.6393	95.40%	72.80%	5
O-MC	2	3	1.7595	93.10%	35.90%	6
O-MC	3	3	1.5371	81.35%	43.25%	7
O	4	0	1.5664	86.60%	-	8
O-P	2	2	1.8786	99.60%	30.95%	9
O-MC	2	4	1.6263	92.65%	28.35%	10

Como se observa en la Tabla 34, los dos mejores escenarios en relación a la duración y porcentaje de utilización se presentan cuando las cuadrillas de trabajo están compuestas por 2-3 oficiales albañilería y 1 solo ayudante peón.

Debido al tipo de vivienda estudiada, se considera como ideal una cantidad no mayor de 4 trabajadores que conformen la cuadrilla. Por tal razón, resulta adecuado mencionar que las cuadrillas conformadas por 2 oficiales y 1 media cuchara, 2 oficiales y 2 peones, y 4 oficiales (ver Tabla 34) presentaron resultados eficientes teniendo en cuenta la duración y el porcentaje de utilización de los recursos.

#### 4.5 Análisis con la inclusión del costo de la cuadrilla

Para el constructor y para el cliente los criterios más importantes en la ejecución de un proyecto de construcción son el costo y el tiempo. Por tal razón, se consideró pertinente la inclusión del costo de la cuadrilla para el análisis y selección de las mejores composiciones de cuadrillas; sin embargo, el orden de importancia entre estos dos factores depende del criterio del constructor y del cliente. Se realizaron cuatro diferentes ponderaciones entre el costo y la duración para la selección de las cuadrillas de trabajo; se consideró el costo como el criterio más importante con una ponderación de entre 80% y 50%, seguido del criterio de la duración de la ejecución del concepto de trabajo con una ponderación de 50% al 20%.

Tabla 35. Diferentes ponderaciones para el análisis de concepto de trabajo Muro y Techo.

PONDERACIÓN	COSTO DE LA CUADRILLA	DURACIÓN DE LA EJECUCIÓN DEL CONCEPTO
1	50%	50%
2	60%	40%
3	70%	30%
4	80%	20%

En la Tabla 35 se puede observar la asignación de diferentes ponderaciones entre los factores de duración y costo de la cuadrilla; las diferentes ponderaciones se realizaron con el propósito de encontrar las mejores diez composiciones de cuadrillas para los conceptos de trabajo Muro y Techo. Los resultados detallados de cada una de las diferentes ponderaciones se presentan en el Apéndice D.

#### 4.5.1 Concepto de trabajo Muro

En la Tabla 36 se pueden observar los mejores tres composiciones de cuadrillas considerando las cuatro diferentes opciones de ponderación del costo de la cuadrilla y duración del concepto de trabajo en la Tabla 35.

Se consideró adecuado un tamaño de cuadrilla no mayor a 4 trabajadores para la ejecución del concepto de trabajo Muro en viviendas de tipo tradicional (<70 m<sup>2</sup> de construcción).

Tabla 36. Mejores composiciones de cuadrillas para el concepto de trabajo Muro

MEJORES CUADRILLAS CONCEPTO MURO				
PONDERACIÓN		POSICIONES		
COSTO	DURACIÓN	1ER	2DO	3ER
50%	50%	4 Oficiales	3 Oficiales + 3 Medias Cucharas	3 Oficiales + 4 Medias Cucharas
60%	40%	4 Oficiales	3 Oficiales + 3 Medias Cucharas	3 Oficiales
70%	30%	4 Oficiales	3 Oficiales	2 Oficiales
80%	20%	4 Oficiales	3 Oficiales	2 Oficiales

En la Tabla 36 se puede observar que la cuadrilla compuesta por 4 oficiales albañiles es la cuadrilla que presentó el mejor desempeño para las diferentes opciones de ponderación propuestas. Por otra parte, las cuadrillas compuestas por 3 oficiales y por 2 oficiales también presentaron buenos resultados ocupando el segundo lugar y tercer lugar respectivamente para ponderaciones de 70-80% de costo y 30-20% de duración. Las cuadrillas compuestas por un número mayor a 4 trabajadores se consideraron muy grandes para el tipo de vivienda estudiada, por tal razón no se presentaron dentro de los escenarios ideales.

#### 4.5.2 Concepto de trabajo Techo

De igual forma se consideró adecuado un tamaño de cuadrilla no mayor a 4 trabajadores para la ejecución del concepto de trabajo Techo en viviendas de tipo tradicional (<70 m<sup>2</sup> de construcción).

Tabla 37. Mejores composiciones de cuadrillas para el concepto de trabajo Techo

<b>MEJORES CUADRILLAS CONCEPTO TECHO</b>				
<b>PONDERACIÓN</b>		<b>POSICIONES</b>		
<b>COSTO</b>	<b>DURACIÓN</b>	<b>1ER</b>	<b>2DO</b>	<b>3ER</b>
50%	50%	4 Oficiales	3 Oficiales	3 Oficiales + 3 Peones
60%	40%	4 Oficiales	3 Oficiales	2 Oficiales + 2 Peones
70%	30%	3 Oficiales	4 Oficiales	2 Oficiales
80%	20%	3 Oficiales	2 Oficiales	4 Oficiales

En la Tabla 37 se pueden observar los mejores tres resultados de composiciones de cuadrillas considerando las cuatro diferentes opciones de ponderación del costo de la cuadrilla y duración del concepto de trabajo anteriormente mencionado. El mejor desempeño se presentó en cuadrillas compuestas por 4 oficiales y cuadrillas compuestas por 3 oficiales. De igual forma la cuadrilla compuesta por 2 oficiales y la cuadrilla compuesta por 2 oficiales y 2 peones presentaron un buen desempeño.

## 5. DISCUSIÓN

El 72% de las tareas identificadas en el concepto de trabajo Muro y el 43% de las tareas identificadas en el concepto de trabajo Techo, coincidieron con las tareas seleccionadas por Osorio (2015) en la tesis titulada “Determinación del impacto del ausentismo de la mano de obra sobre el tiempo de ejecución de las actividades de construcción de vivienda”,<sup>114</sup> investigación en la cual el autor describe y analiza mediante modelos de simulación, cual es el impacto que tiene el ausentismo de la mano de obra (oficiales y peones) en la ejecución de actividades de construcción de vivienda masiva.

Durante la recolección de los datos en campo del concepto de trabajo Muro, se pudo observar que en dos de los proyectos estudiados de construcción de vivienda tradicional (CONAVI, entre 40 y 70 m<sup>2</sup> de construcción), los trabajos eran asignados a un solo oficial albañil, quien era el encargado de realizar todas las tareas del concepto de trabajo; decisión que concuerda con Thomas *et al.* (2006), al mencionar que para lograr una máxima eficiencia de los oficiales albañiles, éstos necesitan un espacio entre 77 y 92 m<sup>2</sup> por persona.<sup>115</sup>

Según Gündüz *et al.* (2012), la falta de cualificación y experiencia de la mano de obra es uno de los factores que afecta en mayor medida los retrasos de los proyectos de construcción.<sup>116</sup> Lo anterior resulta congruente con esta investigación, dado que los mejores resultados obtenidos, tanto a través de las mediciones de campo como mediante los modelos de simulación, fueron aquellos en los cuales las cuadrillas estuvieron compuestas únicamente por oficiales albañiles, caso que se presentó tanto en el concepto de Muro como en el de Techo. Es decir, que se obtiene un

---

<sup>114</sup> Osorio Sandoval, “Determinación Del Impacto Del Ausentismo de La Mano de Obra Sobre El Tiempo de Ejecución de Las Actividades de Construcción de Vivienda.” Op cit.

<sup>115</sup> HR Thomas, DR Riley, and SK Sinha, “Fundamental Principles for Avoiding Congested Work areas—A Case Study,” *Practice Periodical on Structural Design and Construction*, no. November (2006): 197–205.

<sup>116</sup> Gündüz, Nielsen, and Özdemir, “Quantification of Delay Factors Using the Relative Importance Index Method for Construction Projects in Turkey.” Op cit.

mejor desempeño del proyecto (costo – duración) cuando las cuadrillas estuvieron compuestas por solo oficiales albañiles, así ellos percibieran un sueldo más alto que el de los medias cucharas y peones.

No obstante, la industria de la construcción considera que la experiencia es el factor fundamental en el cual un peón puede llegar a convertirse en media cuchara y seguido de esto en oficial albañil; los resultados de esta investigación apuntan a que evitando la inclusión de ayudantes en la cuadrilla se podría beneficiar el desempeño del proyecto. Por tal razón, es importante enfatizar la importancia de la capacitación formal en la industria de la construcción como el criterio para la promoción de los trabajadores de peones a medias cucharas y finalmente a oficiales albañiles; esto con el fin de que los trabajadores inicien su vida laboral con un conocimiento previo a la experiencia.

Thomas *et al.* (2004) estudiaron el efecto de las relaciones simbióticas entre las cuadrillas de trabajo en tres proyectos de refuerzo de acero. Los autores obtuvieron que la mejor productividad laboral resultó cuando el tamaño de la cuadrilla fue de 4 trabajadores, independientemente del tamaño del proyecto. También se refirieron a que esto coincide con el tamaño de la cuadrilla sugerido en la literatura (Heavy Construction Cost Data 1999).<sup>117</sup> Lo anterior es consistente con lo obtenido en la presente investigación, pues cuatro de los doce escenarios con los que se obtuvo los mejores resultados (costo de la cuadrilla y duración de la ejecución del concepto de trabajo) en el concepto de Muro, incluyeron cuadrillas también compuestas por 4 trabajadores. Por otro lado, en el concepto de Techo, fueron cinco de los doce escenarios con mejores resultados los que incluyeron 4 trabajadores en la cuadrilla.

De igual forma Thomas *et al.* (2006), en su investigación titulada “Principios Fundamentales de la Gestión de la Mano de Obra”, mencionan que los contratistas

---

<sup>117</sup> H. Randolph Thomas, Michael J. Horman, and Ubiraci Espinelli Lemes de Souza, “Symbiotic Crew Relationships and Labor Flow,” *Journal of Construction Engineering and Management* 130, no. 6 (2004): 908–17.

deberían reclutar una cantidad de trabajadores consistente con la cantidad de trabajo disponible para realizar. Sin embargo, en su investigación dichos autores observaron que a menudo las cuadrillas no tenían suficiente trabajo para realizar, lo cual afectó negativamente la productividad de la cuadrilla.<sup>118</sup> Por tal razón, dentro del análisis de simulación de esta investigación se consideró el porcentaje de utilización de los recursos (oficiales y ayudantes) como un parámetro útil para la identificación de las cuadrillas ideales en la ejecución de los conceptos de trabajo estudiados.

Una planificación ineficaz puede ocasionar en algunos casos, que el número de miembros de la cuadrilla asignados a una actividad sea mayor que lo necesario, debido a que el trabajo se asigna de manera errática.<sup>119</sup> Esto ocurre por la presencia de cambios tardíos, retrasos de otros contratistas y las dificultades imprevistas en el sitio; circunstancias que afectan al proyecto mientras que las fechas de finalización y entrega se mantienen rígidas. Es en estos casos donde se observan desviaciones con respecto a lo planeado; es posible que sea necesario una mayor cantidad de mano de obra que la originalmente estimada para completar el trabajo en el plazo requerido. Por lo anterior, es necesario aclarar que las cuadrillas sugeridas en esta investigación como “ideales” para la ejecución de los conceptos de trabajo Muro y Techo, son adecuadas únicamente bajo condiciones eficientes y eficaces de administración y planificación de la obra.

En cuanto a los resultados de duración obtenidos con la simulación de diferentes composiciones y organizaciones de cuadrillas, se observó que es mayor la disminución del tiempo de ejecución cuando se aumenta la cantidad de oficiales que conforman la cuadrilla. Este resultado fue consistente tanto en la ejecución del concepto Muro como Techo. Esto seguramente se debe a que son los oficiales quienes realizan el trabajo directo del concepto de trabajo, por lo cual, contribuyen a

---

<sup>118</sup> H Randolph Thomas, M Asce, and Michael J Horman, “Fundamental Principles of Workforce Management,” *Journal of Construction Engineering and Management* 132, no. January (2006): 97–104.

<sup>119</sup> M. J. Horman, “Process Dynamics: Buffer Management in Construction” (University of Melbourne, Australia., 2000).

un avance real en la obra. Por otra parte, cuando se asumió el uso de medias cucharas y se aumentaba su cantidad mientras que la de oficiales se mantenía constante, se obtuvieron duraciones más eficientes en concepto Muro. Por otro lado, siempre que se consideró el uso de peones, se obtuvieron resultados más pobres. De igual forma, en el concepto Techo también se obtuvieron mejores resultados de duración cuando se aumentó la cantidad de ayudantes que conformaban la cuadrilla; sin embargo, la diferencia entre los resultados obtenidos con cuadrillas que incluyeron medias cucharas y las que incluyeron peones no fue significativa.

## 6. CONCLUSIONES

Con la presente investigación fue posible determinar cuál es la composición ideal de las cuadrillas de trabajo para la ejecución del concepto de trabajo Muro, el cual, para los propósitos de esta investigación, comprendió las actividades de muro de block, castillos armados, cerramientos y cadena de nivelación. De igual forma se identificaron las cuadrillas ideales para el concepto de trabajo Techo, para el cual se consideraron las actividades de traveses y losa tipo vigueta y bovedilla.

De la metodología utilizada en el desarrollo de esta investigación se puede concluir:

- Mediante el estudio del trabajo fue posible conocer cuáles son los métodos de trabajo que utilizan las cuadrillas en la ejecución de las actividades de construcción, y de igual forma, conocer cuál es la organización del trabajo en cuanto a la asignación de tareas para cada tipo de trabajador. Esta información resultó útil como parámetro de comparación frente a los diferentes experimentos de organización y composición de las cuadrillas realizados mediante los modelos de simulación.
- El muestreo del trabajo resultó útil para obtener la duración total de los conceptos de trabajo estudiados, y así poder calcular los porcentajes de tiempos productivos e improductivos que tiene cada uno de los trabajadores que conforman una cuadrilla. Estos datos fueron de importancia para tener un parámetro de referencia a la hora de realizar las experimentaciones mediante los modelos de simulación.
- Mediante la simulación de eventos discretos fue posible analizar cómo afecta la composición de la cuadrilla a la productividad de una manera aislada, mediante la realización de experimentos virtuales. Por tal razón, se puede considerar como una metodología adecuada para estimar el efecto de diferentes factores sobre el desempeño de las actividades de construcción. En este caso, resultó útil para analizar el efecto de la composición y organización de las cuadrillas de trabajo.

Los parámetros de desempeño analizados en este ejercicio de simulación fueron la duración de la ejecución de los conceptos de trabajo estudiados, así como el porcentaje de utilización de los recursos de mano de obra (oficiales, medias cucharas, y peones). Sobre el análisis de estos parámetros de desempeño, se obtuvo lo siguiente:

- Para la ejecución del concepto de trabajo de Muro, los mejores escenarios se obtuvieron cuando se asumió cuadrillas de trabajo conformadas entre 2 y 4 oficiales albañiles.
- Para la ejecución del concepto de trabajo de Techo, los mejores escenarios se obtuvieron cuando se asumió cuadrillas de trabajo conformadas entre 2 y 3 oficiales de albañilería más 1 ayudante peón. De igual forma, la cuadrilla conformada por 2 oficiales de albañilería más 2 ayudantes medias cucharas obtuvo un buen desempeño.

Sin embargo, posteriormente se incluyó el parámetro del costo de la cuadrilla en este análisis en lugar del porcentaje de utilización, ya que el efecto sobre el costo es generalmente tomado más en cuenta por las empresas constructoras. Por tal razón, de los resultados obtenidos del análisis conjunto de los parámetros de duración y costo, se puede concluir:

- Los mejores escenarios para la ejecución tanto para el concepto de trabajo Muro como Techo, se obtuvieron cuando se asumió cuadrillas de trabajo conformadas por entre 2 y 4 oficiales albañiles y sin el empleo de ayudantes.
- Sin embargo, en el concepto Techo, la cuadrilla integrada por 2 oficiales de albañilería y 2 ayudantes peones, también se encontró como uno de los escenarios con mejores resultados de desempeño.

Finalmente, de acuerdo con los resultados obtenidos, tanto para el concepto de trabajo de Muro como Techo, se puede inferir que estos conceptos de trabajo se ejecutarían de manera más eficiente si se obviara el empleo de ayudantes (peones y medias cucharas) dentro de la composición de la cuadrilla de trabajo.

## 7. RECOMENDACIONES

Se recomienda a las empresas constructoras y entidades del gobierno, la necesidad de realizar procesos de capacitación formal a la mano de obra de la construcción. Esto con el fin de que los trabajadores de la construcción inicien su vida laboral con un conocimiento previo a la experiencia, ya que, de acuerdo con los resultados obtenidos en esta investigación, sería mejor obviar el empleo de ayudantes en las cuadrillas.

Se recomienda a la administración de los proyectos de construcción disponer de buenas condiciones de trabajo, con el fin de disminuir la necesidad de los ayudantes en las cuadrillas de trabajo. Esto con el fin de lograr reducir los trabajos indirectos y la pérdida de tiempo productivo por falta de material, herramientas o instrucciones.

Los modelos y datos proporcionados en esta investigación pueden servir como base para futuros estudios relacionados con los factores del método de trabajo que afectan las actividades de construcción. Algunos de los factores identificados durante el desarrollo de este proyecto fueron:

- Herramientas y equipos.
- Métodos constructivos.

De igual forma se recomienda seguir la metodología utilizada en esta investigación para analizar cómo afecta la composición de la cuadrilla en la productividad de los siguientes conceptos de trabajo.

- Cimentación.
- Acabado en muros, pisos y techos.

## BIBLIOGRAFÍA

- Abd El-Razek, M. E., H. A. Bassioni, and A.M Mobarak. "Causes of Delay in Building Construction Projects in Egypt." *Journal of Management in Engineering and Management* 134, no. 11 (2008): 831–41. doi:10.1061/(ASCE)0742-597X(1995)11:2(45).
- Abduh, M., F. Shanti, and A. Pratama. "Simulation of Construction Operation : Search for a Practical and Effective Simulation System for Construction Practitioners." *Simulation*, 2010.
- AbouRizk, S., D. Halpin, Y. Mohamed, and U. Hermann. "Research in Modeling and Simulation for Improving Construction Engineering Operations." *Journal of Construction Engineering and Management* 137, no. 10 (2011): 843–52. doi:10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0000288.
- Abourizk, Simaan M., and Rod J. Wales. "Combined Discrete-Event/Continuous Simulation for Project Planning." *Journal of Chemical Information and Modeling* 53, no. 9 (2013): 1689–99. doi:10.1017/CBO9781107415324.004.
- Agbulos, Albert, Yasser Mohamed, Mohamed Al-Hussein, Simaan AbouRizk, and John Roesch. "Application of Lean Concepts and Simulation Analysis to Improve Efficiency of Drainage Operations Maintenance Crews." *Journal of Construction Engineering and Management* 132, no. 3 (2006): 291–99. doi:10.1061/(ASCE)0733-9364(2006)132:3(291).
- Alvarez Fernandez, Carlos. *Organización del Trabajo. Modelos*. Edited by Bubok, 2010.
- Arcudia, Carlos, Rómel Solís, and Julio Baeza. "Determinación de los Factores que afectan la Productividad de la Mano de Obra de la Construcción" 8 (2004): 145–54.
- Azarang, Mohammad, and Eduardo Garcia. *Simulacion y Análisis de Modelos Estocásticos*. México: Mc Graw Hill, 1998.
- Baeza Pereyra, Julio R., Romel Solís Carcaño, and Carlos E. Arcudia-abad. "Utilizando Informacion Acerca de Productividad de Mano de Obra y Simulaciones Computacionales en el salón de C lase." *Revista Ingenieria de Construccion* 18 (2003): 14–21. <http://www.ricuc.cl/index.php/ric/article/view/154/pdf>.
- Baldwin, Andrew, and David Bordoli. *A Handbook for Contruction Planning and Scheduling*. John Wiley & Sons, Ltd, 2014.
- Bititci, U.S., P. Suwignjo, and A.S. Carrie. "Strategy Management through Quantitative Modelling of Performance Measurement Systems." *International*

- Journal of Production Economics 69, no. 1 (2001): 15–22. doi:10.1016/S0925-5273(99)00113-9.
- Botero Botero, Luis Fernando, and Harlem Acevedo Agudelo. “Simulación de Operaciones y Línea de Balance: Herramientas Integradas para la Toma de Decisiones.” *Ingeniería y Ciencia - Ing.cienc.* 7, no. 13 (2011): 29–45. <http://publicaciones.eafit.edu.co/index.php/ingciencia/article/view/399>.
- Botero Botero, Luis Fernando, and Martha Eugenia Álvarez Villa. “Guía de Mejoramiento Continuo para la Productividad en la Contruccion de Proyectos de Vivienda (Lean Construction Como Estrategia de Mejoramiento).” *Revisa Universidad EAFIT*. Medellin, 2004.
- Chang, Chul-Ki, Awad S. Hanna, Jeffery A. Lackney, and Kenneth T. Sullivan. “Quantifying the Impact of Schedule Compression on Labor Productivity for Mechanical and Sheet Metal Contractor.” *Journal of Construction Engineering and Management* 133, no. 4 (2007): 287–96. doi:10.1061/(ASCE)0733-9364(2007)133:4(287).
- Christian, John, and Daniel Hachey. “Effects of Delay Times on Production Rates in Construction.” *Journal of Construction Engineering and Management*, 1995. doi:10.1061/(ASCE)0733-9364(1995)121:1(20).
- Clough, Richard, Glenn Sears, and Keoki Sears. *Construction Project Management*. Four editi., 2000.
- Corona, Gilberto. “Método Constructivo y Administración de Materiales – Factores que qfectan la Productividad de la Mano de Obra en la Construcción Masiva de Vivienda.” *Universidad Autónoma de Yucatán*, 1999.
- Dai, Jiukun, Paul M. Goodrum, William F. Maloney, and Cidambi Srinivasan. “Latent Structures of the Factors Affecting Construction Labor Productivity.” *Journal of Construction Engineering and Management* 135, no. 5 (2009): 397–406. doi:10.1061/(ASCE)0733-9364(2009)135:5(397).
- Dozzi, S. P., and S.M. AbouRizk. *Productivity in Construction*. Ottawa, 1993. <http://web.mit.edu/parmstr/Public/NRCan/nrcc37001.pdf>.
- Duran, Freddy Alfonso. *Ingeniería de Métodos. Globalizacion: Técnicas para el Manejo Eficiente de Recursos en Organizaciones Fabriles, de Servicios y Hospitalarias*. Guayaquil, Ecuador: Universidad de Guayaquil, 2007.
- Fayek, Aminah Robinson, and Ayodele Oduba. “Predicting Industrial Construction Labor Productivity Using Fuzzy Expert Systems.” *Journal of Construction Engineering and Management* 131, no. 8 (2005): 938–41. doi:10.1061/(ASCE)0733-9364(2005)131:8(938).
- Fernández-Rios, M. *Análisis Descripción de Puestos de Trabajo: Teoría, Métodos y Ejercicios*. Madrid: Diaz de Santos, 1995.
- Gómez Cabrera, Adriana, Juan Diego Echeverry Hoyos, María Ximena Giraldo

- Palma, Camilo Otálora Sanchez, and Martha Lucía Cano Morales. "Mejoramiento de Procesos Constructivos a partir de un Módulo Programable para Captura de Imágenes y Simulación Digital." *Revista Ingenieria de Construccion* 27, no. 2 (2012): 35–53. doi:10.4067/S0718-50732012000200003.
- Gonzalez-Quevedo, Antonio A., Simman M. AbouRizk, David T. Iseley, and Daniel W. Halpin. "Comparison of Two Simulation Methodologies in Construction." *Journal of Construction Engineering and Management* 119 (1993): 573–89. doi:10.1017/CBO9781107415324.004.
- González, Jose Antonio. "Administracion Efectiva de Proyectos de Construccion en el contexto de las Pymes." Mérida, Yucatán, 2010.
- González, Vicente, and Luis Fernando Alarcón. "Buffers de Programación: Una Estrategia Complementaria para Reducir la Variabilidad en los Procesos de Contrucción." *Construction*. Santiago, Chile, 2003.
- Gündüz, Murat, Yasemin Nielsen, and Mustafa Özdemir. "Quantification of Delay Factors Using the Relative Importance Index Method for Construction Projects in Turkey." *Journal of Management in Engineering* 29, no. April (2012): 133–39. doi:10.1061/(ASCE)ME.1943-5479.0000129.
- Hajjar, Dany, and Simaan AbouRizk. "Symphony: An Environment for Building Special Purpose Construction Simulation Tools." WSC'99. 1999 Winter Simulation Conference Proceedings. "Simulation - A Bridge to the Future" (Cat. No.99CH37038) 2 (1999): 998–1006. doi:10.1109/WSC.1999.816811.
- Halpin, D. W., and L. S. Riggs. *Planning and Analysis of Construction Operations*. New York: John Wiley & Sons, 1992.
- Hassan, Marwa M., and Stan Gruber. "Simulation of Concrete Paving Operations on Interstate-74." *Journal of Construction Engineering and Management* 134, no. 1 (2008): 2–9. doi:10.1061/(ASCE)0733-9364(2008)134:1(2).
- Horman, M. J. "Process Dynamics: Buffer Management in Construction." University of Melbourne, Australia., 2000.
- Ibbs, William. "Measured-Mile Principles." *Journal of Legal Affairs and Dispute Resolution in Engineering and Construction*, no. May (2012): 31–39. doi:10.1061/(ASCE)LA.1943-4170.0000087.
- Ibbs, William, and Min Liu. "Improved Measured Mile Analysis Technique." *Journal of Construction Engineering and Management* 131, no. 12 (2005): 1249–56. doi:10.1061/(ASCE)0733-9364(2005)131:12(1249).
- Jarkas, Abdulaziz M., and Camille G. Bitar. "Factors Affecting Construction Labour Productivity in Kuwait." *Journal of Construction Engineering and Management* 138, no. July (2012): 811–20. doi:10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0000501.
- Law, Averill M., and W. David Kelton. *Simulation Modeling and Analysis*. Thrid edit. Mc Graw Hill, 2000.

- Liberda, M., Ruwanpura, J., and Jergeas, G. "Construction Productivity Improvement: A Study of Human, Management and External Issues." Construction Research Congress, 2003, 1–8. doi:10.1061/40671(2003)5.
- López, Salvador., and Jaime. Llanes. Organización de Obra y Control de Personal. 2da edició. Valladolid, España.: Lex Nova, 2009.
- Lu, Ming, and Lap-Chi Wong. "Comparison of Two Simulation Methodologies in Modeling Construction Systems: Manufacturing-Oriented PROMODEL vs. Construction-Oriented SDESA." Automation in Construction 16, no. 1 (2007): 86–95. doi:10.1016/j.autcon.2005.12.001.
- March, Chris. Operation Management for Construction. Taylor & F. London & New York: Spon Press, 2009.
- Martinez, Julio C. "Methodology for Conducting Discrete-Event Simulation Studies in Construction Engineering and Management." Journal of Construction Engineering and Management 136, no. January (2010): 3–16.
- Meyers, F. E. Estudios de Tiempos y Movimientos. Pearson educación, 2000.
- Navas, Raúl F., María R. Ridl, and Liliana Torés. "Mano de Obra en la Construcción : Determinación de la Cuadrilla Óptima por medio de una Herramienta de Simulación." Ingeniería 16, no. 2 (2012): 151–63. <http://www.revista.ingenieria.uady.mx/volumen16/mano.pdf>.
- Niebel, B. Ingeniería Industrial: Métodos, Tiempos y Movimientos. Edited by McGraw Hill/ Interamericana Editores. 12th ed., 1990.
- Osorio Sandoval, Carlos Arturo. "Determinación del Impacto del Ausentismo de la Mano de Obra sobre el Tiempo de Ejecución de las Actividades de Construcción de Vivienda." Univerisad Autónoma de Yucatán, 2015.
- Pino Rosado, G. E. "El Absentismo y la Rotación de los Albañiles en la Construcción Masiva de Vivienda: Variables que afectan la Productividad. Mérida: Tesis de Maestría, Universidad Autónoma de Yucatán." Universidad Autónoma de Yucatán, 2002.
- Project Management Institute. A Guide to the Project Management Body of Knowledge. Third Edit. Newtown Square, Pennsylvania, Estados Unidos: PMBOK® Guide., 2004.
- Rabelo, Luis, Magdy Helal, Albert Jones, and Hyeung-Sik Min. "Enterprise Simulation: A Hybrid System Approach." International Journal of Computer Integrated Manufacturing 18, no. 6 (2005): 498–508. doi:10.1080/09511920400030138.
- Randolph Thomas, H., William F. Maloney, R. Malcolm W. Horner, Gary R. Smith, Vir K. Handa, and Steve R. Sanders. "Modeling Construction Labor Productivity." Journal of Construction Engineering & Management 116, no. 4 (1990): 705–26.

- Rojas, Eddy M., and Peerapong Aramvareekul. "Is Construction Labor Productivity Really Declining?" *Journal of Construction Engineering and Management* 129, no. 1 (2003): 41–46. doi:10.1061/(ASCE)0733-9364(2003)129:1(41).
- Rojas, Eddy M., and Amlan Mukherjee. "Simulando el Proceso de Gestión de Construcción." *Revista Ingeniería de Construcción*, 2002.
- SEDATU (Secretaría de desarrollo agrario territorial y Urbano). "Reporte Mensual Del Sector de la Vivienda." Estados Unidos Mexicanos, 2016.
- Senior, Bolivar A., and Daniel W. Halpin. "Simplified Simulation System for Construction Project." *Journal of Construction Engineering and*, no. February (1998): 72–81.
- Serpell, Alfredo. *Administración de Operaciones de Construcción*. Alfaomega Editores. ALFAOMEGA. Vol. 1, 2003.
- Shehata, Mostafa E., and Khaled M. El-Gohary. "Towards Improving Construction Labor Productivity and Projects' Performance." *Alexandria Engineering Journal* 50, no. 4 (2012): 321–30. doi:10.1016/j.aej.2012.02.001.
- Solís Carcaño, R. G., J. Martínez Delgadillo, and J. González Fajardo. "Estudio de Caso: Demoras en la Construcción de un Proyecto en México." *Revista Ingeniería* 13 (2009): 41–48.
- Song, Lingguang, and Simaan M. Abourizk. "Measuring and Modeling Labor Productivity Using Historical Data." *Journal of Construction Engineering and Management* 134, no. May 2010 (2008): 786–94.
- Song, Lingguang, and Simaan M. AbouRizk. "Measuring and Modeling Labor Productivity Using Historical Data." *Journal of Construction Engineering and Management* 134, no. 10 (2008): 786–94. doi:10.1061/(ASCE)0733-9364(2008)134:10(786).
- Tavakoli, Amir. "Productivity Analysis of Construction Operations." *Journal of Construction Engineering and Management* 111 (1985): 31–39. doi:10.1061/(ASCE)0733-9364(1985)111:1(31).
- Thomas, H. Randolph, José M. Guevara, and Carl T. Gustenhoven. "Improving Productivity Estimates by Work Sampling." *Journal of Construction Engineering and Management* 110, no. 2 (1984): 178–88. doi:10.1061/(ASCE)0733-9364(1984)110:2(178).
- Thomas, H. Randolph, Michael J. Horman, and Ubiraci Espinelli Lemes de Souza. "Symbiotic Crew Relationships and Labor Flow." *Journal of Construction Engineering and Management* 130, no. 6 (2004): 908–17. doi:10.1061/(ASCE)0733-9364(2004)130:6(908).
- Thomas, H. Randolph, M. Asce, and Michael J. Horman. "Fundamental Principles of Workforce Management." *Journal of Construction Engineering and Management* 132, no. January (2006): 97–104.

- Thomas, HR, DR Riley, and SK Sinha. "Fundamental Principles for Avoiding Congested Work areas—A Case Study." *Practice Periodical on Structural Design and Construction*, no. November (2006): 197–205. [http://ascelibrary.org/doi/abs/10.1061/\(ASCE\)1084-0680\(2006\)11:4\(197\)](http://ascelibrary.org/doi/abs/10.1061/(ASCE)1084-0680(2006)11:4(197)).
- Thomas, Randolph H., and Victor E. Sanvido. "Role of the Fabricator in Labor Productivity." *Journal of Construction Engineering and Management* 2, no. October (2002): 358–65.
- Vanegas, Jorge A., Edmundo B. Bravo, and Daniel W. Halpin. "Simulation Technologies for Planning Heavy Construction Processes." *Journal of Construction Engineering & Management* 119, no. 2 (1993): 336–54.
- Watkins, Matt, Amlan Mukherjee, Nilufer Onder, and Kris Mattila. "Using Agent-Based Modeling to Study Construction Labor Productivity as an Emergent Property of Individual and Crew Interactions." *Journal of Construction Engineering and Management* 135, no. 7 (2009): 657–67. doi:10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0000022.
- Weegelius-Lehtone, Tutu. "Performance Measurement in Construction Logistics." *Journal of Management in Engineering* 20, no. 2 (2004): 42–50. doi:10.1061/(ASCE)0742-597X(2004)20:2(42).
- Zakeri, Mahmood, Paul O. Olomolaiye, Gary D. Holt, and Frank C. Harris. "A Survey of Constraints on Iranian Construction Operatives' Productivity." *Construction Management and Economics* 14, no. January 2015 (1996): 417–26. doi:10.1080/014461996373287.
- Zayed, Tarek M., and Daniel W. Halpin. "Simulation as a Tool for Pile Productivity Assessment." *Journal of Construction Engineering and Management* 130, no. June (2004): 394–404. doi:10.1061/(ASCE)0733-9364(2004)130:3(394).
- Zayed, TM, and DW Halpin. "Process versus Data Oriented Techniques in Pile Construction Productivity Assessment." *Journal of Construction Engineering and Management*, no. August (2004): 490–99. doi:10.1061/(ASCE)0733-9364(2004)130:4(490).
- Zhang, Yang, Simaan M. AbouRizk, Hua Xie, and Elmira Moghani. "Design and Implementation of Loose-Coupling Visualization Components in a Distributed Construction Simulation Environment with HLA." *Journal of Computing in Civil Engineering* 26, no. 2 (2012): 248–58. doi:10.1061/(ASCE)CP.1943-5487.0000131.

# APÉNDICE

## APENDICE A. Duraciones observadas para el cálculo de las productividades de las tareas

**Concepto de Trabajo:** Muro      **Tarea:** Acarreo de bloques de concreto

**Unidad:** Pieza      **Recursos:** 1 trabajador      **Duración (D):** minutos

### Método de acarreo: A Mano

<b>Distancia:</b> 5 metros	<b>Cantidad:</b> 2 Piezas	<b>D:</b> 0.1, 0.2, 0.1, 0.2, 0.1, 0.1, 0.1, 0.1, 0.2, 0.1, 0.1, 0.1, 0.2, 0.2, 0.1, 0.1, 0.1
<b>Distancia:</b> 7 metros	<b>Cantidad:</b> 2 Piezas	<b>D:</b> 0.2, 0.3, 0.3, 0.2, 0.3, 0.3, 0.3, 0.3, 0.4, 0.3, 0.2, 0.3, 0.3, 0.3, 0.2, 0.3, 0.3, 0.3, 0.3, 0.2, 0.3, 0.3, 0.2, 0.3, 0.3, 0.2, 0.3, 0.3, 0.2, 0.2
<b>Distancia:</b> 15 metro	<b>Cantidad:</b> 2 Piezas	<b>D:</b> 0.6, 0.6, 0.6, 0.7, 0.6, 0.6, 0.6, 0.8, 0.7, 0.6, 0.6, 0.6, 0.6, 0.6, 0.7, 0.6, 0.6, 0.6, 0.6, 0.6, 0.8, 0.6, 0.6, 0.6, 0.7, 0.8, 0.8, 0.8, 0.6, 0.6, 0.6, 0.6, 0.7, 0.7, 0.7, 0.7, .7, 0.7, 0.6, 0.6, 1.0, 1.0, 1.0, 1.0, 2.0
<b>Distancia:</b> 20 metros	<b>Cantidad:</b> 2 Piezas	<b>D:</b> 1.2, 0.6, 0.6, 0.7, 1.5, 1.0, 0.6, 0.7, 0.8, 0.9, 0.9, 0.8, 0.7, 0.6, 1.0, 1.0, 0.8, 0.7, 0.9, 0.6, 1.0, 0.8, 0.7, 0.8, 0.9, 0.8, 0.8, 0.8, 0.9, 0.9, 1.0
<b>Distancia:</b> 18 metros	<b>Cantidad:</b> 3 Piezas	<b>D:</b> 1.0, 1.0, 1.0
<b>Distancia:</b> 18 metros	<b>Cantidad:</b> 4 Piezas	<b>D:</b> 1.0, 1.0, 1.0, 1.0
<b>Distancia:</b> 30 metros	<b>Cantidad:</b> 3 Piezas	<b>D:</b> 2.0

### Método de acarreo: Carretilla

<b>Distancia:</b> 18 metros	<b>Cantidad:</b> 8 Piezas	<b>D:</b> 4.0, 3.0, 3.0
<b>Distancia:</b> 18 metros	<b>Cantidad:</b> 9 Piezas	<b>D:</b> 4.0, 5.0
<b>Distancia:</b> 20 metro	<b>Cantidad:</b> 6 Piezas	<b>D:</b> 4.0, 3.5
<b>Distancia:</b> 20 metros	<b>Cantidad:</b> 7 Piezas	<b>D:</b> 4.5, 5.0, 4.0, 4.0, 3.5, 3.0, 5.0, 3.5, 4.5
<b>Distancia:</b> 20 metros	<b>Cantidad:</b> 8 Piezas	<b>D:</b> 3.0, 3.5, 3.0, 4.0, 2.5, 3.5, 4.0, 4.5, 4.5, 4.5, 4.0, 5.0, 3.0, 4.0, 4.0, 5.0
<b>Distancia:</b> 20 metros	<b>Cantidad:</b> 9 Piezas	<b>D:</b> 2.5, 2.5, 4.5, 3.5, 4.5, 5.5, 4.0, 4.0, 3.0, 2.0, 3.0, 5.0, 3.0, 5.0, 5.0
<b>Distancia:</b> 20 metros	<b>Cantidad:</b> 9 Piezas	<b>D:</b> 4.5, 5.0
<b>Distancia:</b> 20 metros	<b>Cantidad:</b> 12 Piezas	<b>D:</b> 4.0

**Concepto de Trabajo:** Muro      **Tarea:** Pegado y verificación de escuadra de plantilla de block

**Unidad:** Pieza      **Recursos:** 1 trabajador      **Duración (D):** minutos

<b>Cantidad:</b> 1 Piezas	<b>D:</b> 3.0, 4.0, 3.0, 3.0, 2.0, 3.0, 4.0, 3.0, 4.0, 3.0, 3.0
<b>Cantidad:</b> 2 Piezas	<b>D:</b> 4.0, 4.0, 4.0, 3.0, 3.0, 4.0, 3.0, 3.0, 4.0
<b>Cantidad:</b> 3 Piezas	<b>D:</b> 5.0, 4.0, 4.0, 5.0, 4.0, 5.0, 5.0, 4.0, 5.0, 6.0, 12.0, 12.0, 8.0, 10.0
<b>Cantidad:</b> 4 Piezas	<b>D:</b> 12.0, 8.0, 11.0, 7.0, 5.0, 7.0, 7.0, 7.0, 7.0, 7.0, 7.0, 5.0, 6.0
<b>Cantidad:</b> 5 Piezas	<b>D:</b> 6.0, 8.0, 8.0, 6.0, 12.0
<b>Cantidad:</b> 7 Piezas	<b>D:</b> 15.0, 13.0
<b>Cantidad:</b> 8 Piezas	<b>D:</b> 15.0, 15.0
<b>Cantidad:</b> 10 Piezas	<b>D:</b> 15.0, 15.0
<b>Cantidad:</b> 12 Piezas	<b>D:</b> 14.0, 16.0, 19.0, 19.0, 19.0

**Concepto de Trabajo:** Muro      **Tarea:** Pegado y nivelación de block

**Unidad:** Pieza      **Recursos:** 1 trabajador      **Duración (D):** minutos

<b>Cantidad:</b> 1 Piezas	<b>D:</b> 1.0, 1.0, .0, 1.0, 1.0, 1.0, 2.0, 2.0, 2.0, 1.0, 1.0, 1.0, 1.0, 2.0, 1.0, 1.0, 1.0, 1.0, 1.0, 1.0, 2.0, 2.0, 1.0, 1.0, 1.0, 1.0, 1.0, 1.0, 2.0, 2.0, 1.0, 1.0, 2.0, , 1.0, 1.0, 1.0, 1.0, 1.5, 1.9, 1.0, 1.0, 1.0, 2.0, 2.0, 1.0, 2.0, 1.0, 1.0, 1.0, 1.0, 2.0
<b>Cantidad:</b> 2 Piezas	<b>D:</b> 1.0, 3.0, 1.0, 2.0, 3.0, 2.0, 2.0, 3.0, 2.0, 2.0, 2.0, 2.0, 1.0, 2.0, 2.0, 2.0, 2.0, 4.0, 3.0, 1.0, 2.0, 2.0, 1.0, 4.0, 2.0, 3.0, 1.0, 2.0, 1.0, 2.0, 1.0, 2.0, 2.0, 2.0, 1.0, 1.0, 2.0, 1.0, 2.0, 3.0, 2.0, 2.0, 1.0, 2.0, 2.0, 1.0, 2.0, 4.0, 2.0, 3.0, 2.0, 3.0, 1.0, 2.0, 1.0

<b>Cantidad:</b> 3 Piezas	<b>D:</b> 3.0, 3.0, 5.0, 3.0, 2.0, 3.0, 2.0, 2., 3.0, 3.0, 3.0, 4.0,2.0, 4.0, 3.0, 1.0, 2.0, 3.0, 4.0, 2.0, 4.0, 3.0, 3.0, 2.0, 3.0, 3.0, 5.0, 5.0, 2.0, 3.0, 3.0, 4.0, 4.0, 6.0, 6.0, 5.0
<b>Cantidad:</b> 4 Piezas	<b>D:</b> 7.0, 7.0, 4.0, 7.0, 3.0, 5.0, 7.0, 3.0, 4.0, 8.0, 8.0, 9.0, 9.0
<b>Cantidad:</b> 5 Piezas	<b>D:</b> 8.0, 5.0, 10.0, 4.0, 6.0, 10.0, 7.0, 4.0, 4.0, 5.0,
<b>Cantidad:</b> 6 Piezas	<b>D:</b> 5.0, 5.0, 6.0, 6.0, 8.0, 10.0, 10.0, 8.0, 12.0, 10.0, 16.0, 10.0
<b>Cantidad:</b> 7 Piezas	<b>D:</b> 12.0, 13.0, 10.0, 9.0
<b>Cantidad:</b> 8 Piezas	<b>D:</b> 9.0, 15.0, 15.0
<b>Cantidad:</b> 9 Piezas	<b>D:</b> 16.0, 12.0, 15.0,
<b>Cantidad:</b> 11 Piezas	<b>D:</b> 9.0, 10.0, 14.0, 13.0
<b>Cantidad:</b> 12 Piezas	<b>D:</b> 16.0, 12.0, 12.0, 19.0, 10.0, 11.0, 19.0, 11.0
<b>Cantidad:</b> 16 Piezas	<b>D:</b> 15.0, 15.0, 18.0
<b>Cantidad:</b> 17 Piezas	<b>D:</b> 15.0, 25.0
<b>Cantidad:</b> 20 Piezas	<b>D:</b> 18.0, 15.0,

**Concepto de Trabajo:** Muro      **Tarea:** Preparación de mortero

**Unidad:** Litros      **Recursos:** 1 trabajador      **Duración (D):** minutos

<b>Cantidad:</b> 60 Litros	<b>D:</b> 7.0, 14.0, 12.0, 13.0
<b>Cantidad:</b> 66 Litros	<b>D:</b> 7.0, 13.0, 14.0, 12.0
<b>Cantidad:</b> 70 Litros	<b>D:</b> 9.0, 5.0, 5.0, 11.0, 12.0, 10.0, 9.0, 6.0, 14.0, 13.0, 4.0, 11.0, 13.0, 4.0, 6.0, 9.0, 6.0, 14.0, 5.0, 14.0, 5.0, 12.0, 8.0, 12.0, 12.0, 13.0, 14.0, 5.0, 9.0, 8.0, 6.0, 13.0, 9.0, 13.0, 7.0, 9.0, 12.0, 13.0, 13.0, 13.0, 8.0, 7.0, 11.0, 13.0, 9.0, 9.0, 13.0, 12.0, 13.0, 5., 9.0, 9.0, 4.0, 7.0, 4.0, 7.0, 9.0, 5.0, 14.0, 7.0, 7.0, 6.0, 9.0, 3.0, 10.0, 4.0, 7.0, 4.0, 7.0, 6.0, 8.0, 6.0, 8.0, 6.0, 4.0, 8.0, 7.0
<b>Cantidad:</b> 76 Litros	<b>D:</b> 1.01, 12.0, 1.0, 9.0, 14.0, 13.0, 11.0, 13.0
<b>Cantidad:</b> 80 Litros	<b>D:</b> 8.0, 6.0, 7.0, 10.0, 12.0, 10.0, 14.0, 10.0, 13.0, 13.0, 14.0, 12.0, 5.0, 6.0, 13.0, 7.0, 5.0, 9.0, 8.0
<b>Cantidad:</b> 85 Litros	<b>D:</b> 8.0, 7.0, 10.0, 12.0, 14.0, 10.0, 13.0, 13.0, 14.0, 12.0
<b>Cantidad:</b> 90 Litros	<b>D:</b> 17.0, 16.5, 15.5, 13.0, 19.0, 13.0, 21.5, 14.0, 15.0, 14.0, 15.5, 15.3, 30.0, 13.0, 22.0, 20.0, 20.0, 8.0, 22.0, 15.0, 20.0, 18.0, 18.0, 17.0, 20.0, 22.0, 21.0, 15.0, 19.0, 13.0, 6.0, 17.0
<b>Cantidad:</b> 95 Litros	<b>D:</b> 17.0, 16.5, 15.5, 13.5, 13.5, 19.0, 13.0, 21.0, 15.0

**Concepto de Trabajo:** Muro y Techo      **Tarea:** Acarreo de mezcla (Mortero y Concreto)

**Unidad:** Cubeta de 19 litros      **Recursos:** 1 trabajador      **Duración (D):** minutos

**Cantidad:** 1 Cubeta

<b>Distancia:</b> 7 metros	<b>D:</b> 0.72, 0.77, 0.62, 0.77, 0.48, 0.8, 0.6, 0.58, 0.62, 0.63, 0.58, 0.62, 0.65, 0.68, 0.60, 0.57, 0.45, 0.48, 0.48, 0.50, 0.52, 0.72, 0.77, 0.62, 0.77, 0.48, 0.80, 0.60, 0.58, 0.62, 0.63, 0.58, 0.62, 0.65, 0.68, 0.60, 0.57, 0.45, 0.48, 0.50, 0.52, 0.57, 0.77, 0.77, 0.57, 0.83, 0.82, 0.77, 0.57, 0.78, 0.62, 0.82, 0.60, 0.97, 0.75, 0.63
<b>Distancia:</b> 10 metros	<b>D:</b> 0.57, 0.77, 0.77, 0.57, 0.83, 0.82, 0.77, 0.57, 0.78, 0.62, 0.82, 0.60, 0.97, 0.75, 0.63, 0.82, 0.85, 0.78, 0.65, 0.67, 0.63, 0.70, 0.97, 0.92, 0.87, 0.82, 0.85, 0.78, 0.65, 0.67, 0.63, 0.70, 0.97, 0.92, 0.87, 1.00, 1.10, 1.13, 1.18, 1.28, 1.03, 1.32, 1.33, 1.37, 1.08, 1.15, 1.20, 1.40, 0.93, 1.30, 1.07, 1.30, 1.35
<b>Distancia:</b> 12 metros	<b>D:</b> 1.00, 1.10, 1.10, 1.13, 1.18, 1.28, 1.10, 1.31, 1.33, 1.37, 1.08, 1.15, 1.20, 1.40, 0.93, 1.30, 1.07, 1.30, 1.35, 1.15, 1.22, 1.30
<b>Distancia:</b> 15 metros	<b>D:</b> 1.15, 1.22, 0.30, 2.00, 1.57, 1.67, 2.17, 0.67, 1.50, 2.00, 1.15, 1.28, 2.50, 1.19, 1.61, 2.00, 2.75, 1.59, 1.30, 1.14, 2.28, 2.15, 1.44, 2.00, 1.85, 1.25, 2.00, 1.85, 1.93, 2.08, 1.67, 1.80, 1.53, 1.00, 1.00, 1.00, 1.00
<b>Distancia:</b> 17 metros	<b>D:</b> 2.00, 1.57, .67, 2.17,
<b>Distancia:</b> 20 metros	<b>D:</b> 1.67, 1.50, 2.00, 1.15, .28, 2.50, 1.19, 1.61, 3.00, 2.75, 1.59, 1.30, 1.14, 2.28, 2.15, 1.44, 2.00, 1.85, 1.25, 2.00, 1.85, 1.93, 2.08, 1.67, 1.80, 1.53, 1.20, 1.27, 1.34, 1.17, 2.00, 1.35, 1.80, 2.35, 1.15, 1.67, 1.63, 1.90, 1.48, 1.58, 2.00, 1.48, 1.83, 1.92, 1.95, 1.63, 1.50, 1.65, 1.48, 1.85, 1.83, 1.63, 1.62, 1.52, 1.50, 1.68, 1.82, 1.95, 1.93, 1.77, 1.62, 1.47, 1.98, 2.07, 120, 1.27, 1.34, 1.17, 2.00, 1.35, 1.18, 1.67, 1.63, 1.90, 1.48, 1.58, 2.00, 1.48, 1.83, 1.92, 1.95, 1.63, 1.50, 1.65, 1.48, 1.85, 1.83, 1.63, 0.62, 1.52, 1.50, 1.68, 1.82, 1.95, 1.93, 1.77, 1.62, 1.47, 1.90, 20.7
<b>Distancia:</b> 30 metros	<b>D:</b> 1.0, 2.0, 2.0, 1.0, 2.0, 1.0, 2.0, 1.0, 1.0, 2.0, 2.0, 1.0, 2.0
<b>Distancia:</b> 35 metros	<b>D:</b> 1.0, 2.0, 1.0, 2.0, 1.0, 1.0, 1.0, 2.0, 2.0, 2.0, 2.0, 1.0

**Concepto de Trabajo:** Muro y Techo **Tarea:** Armado de andamio

**Unidad:** Pieza **Recursos:** 1 trabajador **Duración (D):** minutos

**Cantidad:** 1 Pieza **D:** 4.1, 3.5, 2.9, 3.4, 4.4, 2.6, 3.7, 3.9, 6.8, 4.3, 9.1, 5.3, 6.2, 8.1, 6.2, 2.1, 7.2, 6.6, 8.9, 5.9, 8.0, 7.9, 8.2, 8.3, 5.8, 5.4, 5.4, 6.1, 4.5, 8.5, 6.2, 8.1, 3.9, 3.2, 5.7, 4.1, 5.1, 7.6, 8.6, 8.8, 5.1, 6.0, 6.7, 5.0, 4.7, 4.3, 8.4, 5.8, 8.5, 8.7, 3.6, 6.2, 8.4, 5.4, 6.0, 7.9, 8.2, 6.2, 8.5, 3.8, 7.3, 6.3, 4.5, 5.6, 6.1, 5.4, 8.7, 5.6, 5.8, 5.9, 6.4, 4.9, 5.5, 8.2, 7.0, 8.9, 4.3, 7.9, 5.4, 7.3, 7.9, 5.3, 6.6, 5.9, 5.2, 5.1, 3.9, 8.0, 5.0, 7.5, 3.5, 4.9, 3.5, 8.0, 3.7, 8.3, 8.1, 3.8, 3.8, 4.4, 4.0, 4.4, 7.5, 6.1, 3.5, 3.4, 7.1, 6.0, 8.0, 5.6, 5.2, 8.9, 3.4, 6.6, 3.6, 4.7, 7.2, 8.1, 6.2, 4.5, 8.1, 6.2, 5.3, 9.0, 4.3, 4.7, 6.8, 3.9, 3.6, 3.7, 3.7, 2.1, 2.6, 4.3, 2.6, 2.8, 3.4, 2.0, 3.7, 2.3, 3.2, 3.7, 2.3, 3.6, 3.8, 4.4, 2.5, 3.5, 3.4, 4.2, 2.1, 2.9, 3.5, 4.1, 2.3, 4.1

**Concepto de Trabajo:** Muro y Techo **Tarea:** Acarreo de material para preparación de mezcla (Mortero y Concreto)

**Unidad:** Cubetas **Recursos:** 1 trabajador **Duración (D):** minutos

**Distancia:** 3 metros **Cantidad:** 9 Cubeta **D:** 5.00  
**Distancia:** 4 metros **Cantidad:** 2 Cubetas **D:** 1.00  
**Distancia:** 4 metros **Cantidad:** 3 Cubetas **D:** 2.00  
**Distancia:** 5 metros **Cantidad:** 1 Cubetas **D:** 1.00, 1.00  
**Distancia:** 5 metros **Cantidad:** 2 Cubetas **D:** 2.00  
**Distancia:** 7 metros **Cantidad:** 1 Cubeta **D:** 0.72, 0.77, 0.62, 0.77, 0.48, 0.80, 0.60, 0.58, 0.62, 0.58, 0.62, 0.65, 0.68, 0.60, 0.57, 0.45, 0.8, 0.5, 0.52, 0.72, 0.77, 0.48, 0.80, 0.60, 0.58, 0.62, 0.63, 0.58, 0.62, 0.65, 0.68, 0.60, 0.57, 0.45, 0.48, 0.50, 0.52, 0.57, 0.77, 0.77, 0.57, 0.83, 0.82, 0.77, 0.57, 0.78, 0.62, 0.82, 0.60, 0.97, 0.75, 0.63  
**Distancia:** 10 metros **Cantidad:** 1 Cubeta **D:** 0.57, 0.77, 0.77, 0.57, 0.83, 0.82, 0.77, 0.57, 0.78, 0.62, 0.82, 0.60, 0.97, 0.75, 0.63, 0.82, 0.85, 0.78, 0.65, 0.67, 0.63, 0.70, 0.97, 0.87, 0.82, 0.85, 0.78, 0.65, 0.67, 0.63, 0.70, 0.97, 0.92, 0.87, 1.10, 1.13, 1.18, 1.28, 1.32, 1.33, 1.37, .08, 1.15, 1.2, 1.4, 0.93, 1.30, 1.07, 1.30, 1.35  
**Distancia:** 12 metros **Cantidad:** 1 Cubeta **D:** 1.00, 1.10, 1.13, 1.18, 1.28, 1.10, 1.31, 1.33, 1.37, 1.33, 1.37, 1.08, 1.15, 1.20, 1.14, 0.93, 1.30, 1.07, 1.30, 1.35, 1.15, 1.22, 1.30, 2.00, 1.57, 1.67, 2.17,  
**Distancia:** 15 metros **Cantidad:** 1 Cubeta **D:** 1.15, 1.22, 0.3, 2.00, 1.57, 1.67, 1.67, 2.17, 0.67, 1.50, 2.00, 1.15, 1.28, 2.50, 1.19, .61, 3.00, 2.75, 1.59, 1.30, 1.14, 2.28, 2.15, 1.44, 2.00, 1.85, 1.25, 2.00, 1.85, 1.93, 2.08, 1.67, 1.80, 1.53  
**Distancia:** 20 metros **Cantidad:** 1 Cubeta **D:** 1.67, 1.50, 2.00, 1.15, 1.28, 2.50, 1.19, 1.61, 3.0, 2.75, 1.59, 1.30, 1.14, 2.28, 2.15, 1.44, 2.00, 1.85, 1.25, 2.00, 1.85, 1.93, 2.08, 1.67, 1.80, 1.53, 1.20, 1.27, 1.34, 1.17, 2.00, 1.35, 1.80, 2.35, .15, 1.67, 1.63, 1.9, 1.48, 1.58, 2.00, 1.48, 1.83, 1.92, 1.95, 1.63, 1.50, 1.65, 1.48, 1.85, 1.83, 1.63, 1.62, 1.52, 1.50, 1.68, 1.82, 1.95, 1.93, 1.77, 1.62, 1.47, 1.98, 2.07, 1.62, 1.47, 1.98, 2.07, 1.20, 1.27, 1.34, 1.17, 2.00, 1.35, 1.18, 2.35, 1.15, 1.67, 1.63, 1.90, 1.48, 1.58, 2.00, 1.48, 1.83, 1.92, 1.95, 1.63, 1.50, 1.65, 1.48, 1.85, 1.83, 1.63, 0.62, 1.52, 1.50, 1.68, 1.82, 1.95, 1.93, 1.77, 1.62, 1.47, 1.90, 2.07

**Concepto de Trabajo:** Muro y Techo **Tarea:** Preparación de Concreto

**Unidad:** Litros **Recursos:** 1 trabajador **Duración (D):** minutos

**Cantidad:** 90 Litros **D:** 12, 15, 8, 14, 10, 15, 17, 12, 10, 14, 17, 11, 13, 13, 17, 15, 16, 13, 10, 16, 17, 13, 12, 13, 13, 10, 12, 13, 15, 12, 17, 15, 10, 11, 15, 17, 12, 15, 11, 12, 15, 16, 16, 10, 1, 17, 15, 10, 14, 13, 9, 11, 13, 11, 11, 17, 16, 9, 17, 16, 7, 16, 17, 17, 10, 17, 10, 17, 10, 12, 11, 9, 13, 10, 14, 16, 12, 17, 9, 10, 13, 12, 12, 11, 15, 12, 9, 10, 90, 11, 10, 10, 13, 15, 12, 11, 17, 15, 14, 10, 13, 12, 9, 18, 10, 12, 13, 10, 16, 15, 13, 17, 13, 12, 13, 14, 17, 12, 10, 15, 13, 15, 15, 17, 18, 11, 10, 9, 13, 18, 17, 18, 13, 12, 15, 19, 13, 17, 16

**Concepto de Trabajo:** Muro y Techo      **Tarea:** Acarreo de cimbra (Castillos, Cerramientos y Cadenas)

**Unidad:** Tabla      **Recursos:** 1 trabajador      **Duración (D):** minutos

**Cantidad:** 1 Tabla

**Distancia:** 14 metros    **D:** 0.23, 0.27, 0.22, 0.23, 0.23, 0.13, 0.23, 0.17, 0.18, 0.13, 0.18, 0.27, 0.28, 0.23, 0.23, 0.27, 0.17, 0.28, 0.23, 0.20, 0.13, 0.22, 0.25, 0.22, 0.20, 0.25, 0.22, 0.18, 0.18, 0.20, 0.15, 0.15, 0.20, 0.22, 0.18

**Distancia:** 20 metros    **D:** 0.25, 0.25, 0.23, 0.22, 0.45, 0.20, 0.22, 0.35, 0.22, 0.38, 0.45, 0.33, 0.23, 0.22, 0.35, 0.27, 0.28, 0.42, 0.17, 0.32, 0.17, 0.40, 0.42, 0.35, 0.32, 0.33, 0.40, 0.17, 0.22, 0.40, 0.20, 0.43, 0.38, 0.28, 0.28, 0.30, 0.35, 0.43, 0.22, 0.30, 0.19, 0.25, 0.45, .19, 0.25, 0.33, 0.30, 0.32, 0.35, 0.28, 0.34, 0.26, 0.31, 0.33, 0.45, 0.28, 0.27

**Distancia:** 40 metros    **D:** 0.58, 0.67, 0.62, 0.95, 0.78, 0.82, 0.50, 0.72, 0.58, 0.80, 0.53

**Concepto de Trabajo:** Muro      **Tarea:** Cimbrado de Castillo

**Unidad:** Metros Cuadrados      **Recursos:** 1 trabajador      **Duración (D):** minutos

**Cantidad:** 0.76 m2    **D:** 19.5, 18.5, 21.4

**Cantidad:** 0.72 m2    **D:** 15.2, 9.8, 8.5, 12.5, 12.3, 16.5, 11.8, 15.4, 16.2, 16.3, 16.7, 12.9, 15.1, 16.4, 16.7, 10.0, 12.4, 8.3, 13.0, 14.4, 13.6, 16.3, 14.9, 13.1, 10.1, 12.4, 10.6, 11.3, 17.0, 13.3, 10.0, 16.2, 15.8, 9.7, 11.2, 10.5, 11.7, 17.6, 10.4, 11.8, 15.9, 17.0, 14.6, 18.3, 9.0, 16.8, 10.8, 18.3, 12.8, 12.7, 15.4, 15.5, 11.7, 12.6, 11.8, 12.2, 14.2, 14.0, 14.1, 9.6, 12.3, 13.5, 17.0, 11.8, 13.5, 12.2, 13.2, 16.5, 16.4, 17.0, 15.5, 13.7, 15.7, 13.8, 15.1, 10.6, 9.6, 10.2, 15.1, 9.0, 10.2, 14.6, 13.3, 12.8, 12.7, 9.8, 16.3, 14.7, 11.9, 18.0, 14.5, 17.0, 14.5, 17.2, 11.3, 14.0, 15.0, 17.0

**Concepto de Trabajo:** Muro      **Tarea:** Colado de Castillo

**Unidad:** Metros cúbicos      **Recursos:** 1 trabajador      **Duración (D):** minutos

**Cantidad:** 0.056 m3    **D:** 13, 8, 13

**Cantidad:** 0.054 m3    **D:** 18, 9, 12, 18, 8, 15, 18, 15, 15, 12, 19, 11, 13, 15, 12, 16, 9, 11, 14, 11, 11, 13, 20, 20, 19, 8, 8, 10, 10, 11, 19, 17, 17, 12, 9, 9, 20, 14, 10, 11, 10, 11, 18, 18, 13, 15, 12, 11, 14, 19, 10, 8, 15, 13, 10, 14, 17, 16, 17, 18, 9, 20, 10, 18, 16, 9, 17, 20, 16, 13, 9, 20, 19, 9, 14, 14, 16, 12, 12, 18, 17, 17, 15, 13, 14, 20, 19, 13, 14, 12, 20, 20, 13, 12, 8, 8, 9, 19, 8, 13, 10, 11, 15

**Concepto de Trabajo:** Muro      **Tarea:** Cimbrado de Cerramiento

**Unidad:** Metros Cuadrados      **Recursos:** 1 trabajador      **Duración (D):** minutos

**Cantidad:** 0.450 m2    **D:** 10, 10, 12, 11, 9, 18, 19

**Cantidad:** 0.600 m2    **D:** 10, 10, 12, 9, 11, 11, 18, 14, 19, 12, 9, 15, 15, 9, 11, 9, 10, 14, 11, 17, 10, 14, 15, 10, 9, 11, 9, 9, 9, 13, 16, 13, 19, 16, 12, 13, 19, 12, 9, 11, 17, 11, 9, 13, 14, 10, 17, 17, 14, 17, 10, 16, 14, 19, 17, 19, 9, 14, 20, 1, 16, 12, 11, 19, 16, 18, 9, 16, 9, 16, 17, 14, 18, 18, 14, 16, 9, 18, 15, 10, 18, 12

**Cantidad:** 0.644 m2    **D:** 32, 28, 25, 33, 28, 38, 42

**Concepto de Trabajo:** Muro**Tarea:** Colado de Cerramiento**Unidad:** Metros cúbicos**Recursos:** 1 trabajador**Duración (D):** minutos**Cantidad:** 0.0484 m3 **D:** 9.0, 6.0, 13.0**Cantidad:** 0.054 m3 **D:** 20.0, 12.0, 9.0, 11.0, 11.0, 8.0, 19.0, 16.0, 10.0, 20.0, 20.0, 17.0, 15.0, 20.0, 12.0, 9.0, 9.0, 9.0, 20.0, 15.0, 19.0, 12.0, 9.0, 17.0, 18.0, 11.0, 10.0, 10.0, 13.0, 19.0, 10.0, 15.0, 11.0, 10.0, 9.0, 11.0, 14.0, 19.0, 12.0, 10.0, 14.0, 11.0, 14.0, 19.0, 15.0, 15.0, 11.0, 15.0, 8.0, 16.0, 8.0, 16.0, 18.0, 18.0, 11.0, 11.0, 17.0, 13.0, 11.0, 13.0, 11.0, 13.0, 18.0, 18.0, 14.0, 9.0, 14.0, 15.0, 10.0, 12.0, 17.0, 13.0, 16.0, 16.0, 20.0, 10.0, 10.0, 10.0, 16.0, 12.0, 12.0, 13.0, 10.0, 20.0, 13.0, 9.0, 11.0, 10.0, 9.0, 15.0, 17.0, 17.0, 18.0, 10.0, 11.0, 9.0, 10.0, 13.0, 13.0, 8.0, 17.0, 8.0, 15.0**Concepto de Trabajo:** Muro**Tarea:** Descimbrado de elementos (Castillos, Cerramientos y Cadenas)**Unidad:** Metros Cuadrados**Recursos:** 1 trabajador**Duración (D):** minutos**Cantidad:** 0.60 m2 **D:** 8.0, 10.0, 6.0, 9.0, 6.0, 7.0, 10.0, 5.0, 5.0**Cantidad:** 0.72 m2 **D:** 8.0, 5.0, 9.0, 7.0, 6.0, 11.0, 9.0, 7.0, 9.0, 5.0, 11.0, 6.0, 9.0, 5.0, 11.0, 5.0, 10.0, 5.0, 11.0, 5.0**Concepto de Trabajo:** Muro**Tarea:** Cimbrado de Cadena de nivelación**Unidad:** Metros Cuadrados**Recursos:** 1 trabajador**Duración (D):** minutos**Cantidad:** 0.72 m2 **D:** 15.2, 17.5, 15.4, 16.2, 16.3, 16.7, 18.4, 17.6, 17.9, 18.5, 18.3, 18.2, 17.0, 16.3, 17.4, 17.0, 15.0**Cantidad:** 0.75 m2 **D:** 37.0, 29.0, 34.0, 34.0, 40.0, 23.0, 30.0, 90.0, 29.0, 28.0, 26.0, 30.0, 23.0, 30.0**Cantidad:** 0.76 m2 **D:** 23.5, 31.4, 20.0, 25.0**Concepto de Trabajo:** Muro**Tarea:** Colado de Cadena de nivelación**Unidad:** Metros Cúbicos**Recursos:** 1 trabajador**Duración (D):** minutos**Cantidad:** 0.0375 m3 **D:** 13.0, 10.0, 13.0**Cantidad:** 0.0484 m3 **D:** 9.0, 6.0, 13.0**Cantidad:** 0.0300 m3 **D:** 20.0, 20.0, 20.0, 17.0, 15.0, 20.0, 19.0, 15.0, 15.0, 16.0, 18.0, 18.0, 17.0, 8.0, 15.0, 11.0, 14.0, 19.0**Cantidad:** 0.0540 m3 **D:** 15.0, 18.0, 15.0, 20.0, 20.0, 19.0, 19.0, 17.0, 17.0, 18.0, 18.0, 13.0, 20.0, 10.0, 18.0, 16.0**Concepto de Trabajo:** Muro y Techo**Tarea:** Colocación de acero de refuerzo (Cerramiento, Cadena y Trabe)**Unidad:** Metros lineales**Recursos:** 1 trabajador**Duración (D):** minutos**Cantidad:** 1.0 ml **D:** 1.0, 2.0, 1.0, 3.0, 1.0, 3.0, 1.0, 3.0, 1.0, 1.0, 3.0, 1.0, 1.0, 1.0, 3.0, 4.0, 3.0**Cantidad:** 1.2 ml **D:** 2.0, 3.0, 3.0, 4.5**Cantidad:** 1.5 ml **D:** 5.0, 1.0, 1.0, 2.0, 2.0, 3.0, 4.0, 1.0, 5.0, 5.0, 5.0, 3.0, 3.0**Cantidad:** 1.6 ml **D:** 4.0, 4.0, 2.0, 4.0, 2.0, 4.0, 5.0**Cantidad:** 1.8 ml **D:** 3.0, 4.0**Cantidad:** 2.0 ml **D:** 1.5, 1.2, 2.0, 3.0, 4.0, 1.0, 2.0, 2.0, 4.0, 2.0, 4.0, 2.0, 3.0, 5.0, 1.0, .0, 1.0, 5.0, 2.0, 5.0, 4.0, 3.0, 4.0, 4.0, 1.0, 3.0, 1.0, 5.0

**Concepto de Trabajo:** Techo**Tarea:** Acarreo de Bovedillas**Unidad:** Pieza**Recursos:** 1 trabajador**Duración (D):** minutos**Método de acarreo:** A mano**Distancia:** 5 metros **Cantidad:** 2 piezas**D:** 0.75, 1.25**Distancia:** 15 metros **Cantidad:** 2 piezas**D:** 0.75, 0.50, 0.25, 1.00, 0.75**Distancia:** 18 metros **Cantidad:** 2 piezas**D:** 1.5, 0.75, 1.75, 1.0, 0.75, 0.25, 2.0, 0.75, 1.0, 1.25, 2.25**Distancia:** 20 metros **Cantidad:** 2 piezas**D:** 0.8, 0.8, 0.8, 0.9, 0.9, 1.0, 0.75, 1.5, 2.0, 1.5, 2.5, 1.5, 1.0, 1.5, 0.75, 1.0, 0.5, 1.25, 0.7, 0.8, 0.9**Distancia:** 30 metros **Cantidad:** 2 piezas**D:** 1.0**Método de acarreo:** Carretilla**Distancia:** 20 metros **Cantidad:** 6 piezas**D:** 4.0, 3.5**Distancia:** 20 metros **Cantidad:** 7 piezas**D:** 4.0, 4.0, 3.5, 3.0, 3.5, 4.5**Distancia:** 20 metros **Cantidad:** 8 piezas**D:** 3.0, 3.5, 3.0, 4.0, 2.5, 3.5, 4.0, 4.5, 4.5, 4.5, 4.0, 5.0**Distancia:** 20 metros **Cantidad:** 9 piezas**D:** 2.5, 2.5, 4.5, 3.5, 4.5, 5.5, 4.0**Distancia:** 20 metros **Cantidad:** 10 piezas**D:** 4.5, 5.0**Concepto de Trabajo:** Techo**Tarea:** Acarreo de Viguetas**Unidad:** Pieza**Recursos:** 2 trabajadores**Duración (D):** minutos**Método de acarreo:** A mano**Distancia:** 15 metros **Cantidad:** 1 piezas**D:** 2.0, 1.5, 1.5, 1.5, 2.5,**Distancia:** 18 metros **Cantidad:** 1 piezas**D:** 1.75, 7.5, 2.0, 1.25, 1.75, 2.5, 2.0, 1.75, 1.5, 1.5**Distancia:** 20 metros **Cantidad:** 1 piezas**D:** 3.0, 3.0, 2.5, 2.6, 2.75, 2.5, 2.25, 2.0, 2.25, 3.25, 3.0**Distancia:** 25 metros **Cantidad:** 1 piezas**D:** 3.5**Distancia:** 30 metros **Cantidad:** 1 piezas**D:** 3.5, 2.75, 3.0, 2.75, 3.0**Concepto de Trabajo:** Techo**Tarea:** Izado de Bovedillas**Unidad:** Pieza**Recursos:** 2 trabajadores**Duración (D):** minutos**Cantidad:** 2 Piezas **D:** 1.5, 2.0, 1.0**Cantidad:** 4 Piezas **D:** 3.5, 4.5, 2.5**Cantidad:** 5 Piezas **D:** 3.5, 4.0, 4.0, 4.5**Cantidad:** 6 Piezas **D:** 3.5, 4.5, 4.0, 4.5**Cantidad:** 7 Piezas **D:** 3.0, 5.0, 7.0, 3.0, 4.3, 6.5, 3.0, 5.5, 3.5, 5.0, 6.0, 6.5, 5.0, 4.0, 7.0**Cantidad:** 8 Piezas **D:** 4.0, 7.0, 6.0, 3.5, 4.5, 7.0, 6.0, 7.0, 6.5, 6.5, 7.0, 7.0,**Cantidad:** 9 Piezas **D:** 7.5, 5.5, 3.5, 7.0, 7.0, 4.5, 5.5, 6.5, 3.5**Cantidad:** 10 Piezas **D:** 7.0, 4.5, 6.0, 5.0, 6.0, 7.5, 7.5, 7.0, 5.0**Cantidad:** 11 Piezas **D:** 9.0**Concepto de Trabajo:** Techo**Tarea:** Izado de Viguetas**Unidad:** Pieza**Recursos:** 2 trabajadores**Duración (D):** minutos**Cantidad:** 1 Piezas **D:** 8.0, 10.0, 13.0, 7.0, 6.0, 19.0, 6.0, 5.0, 14.0, 11.0, 5.0, 7.0, 3.0, 15.0, 12.0, 12.0, 13.0, 8.0, 12.0, 8.0, 7.0, 6.0, 6.0, 5.0, 8.0, 13.0, 7.0, 9.0, 9.0, 11.0

**Concepto de Trabajo:** Techo**Tarea:** Cimbrado de Trabe**Unidad:** Metros Cuadrados**Recursos:** 1 trabajador**Duración (D):** minutos**Cantidad:** 0.245 m2 **D:** 10**Cantidad:** 0.311 m2 **D:** 10**Cantidad:** 0.450 m2 **D:** 10, 10, 12, 11, 9, 18, 19**Cantidad:** 0.600 m2 **D:** 10, 10, 12, 9, 11, 11, 18, 14, 19, 12, 9, 15, 15, 9, 11, 9, 10, 14, 11, 17, 10, 14, 15, 10, 9, 11, 9, 9, 9, 13, 16, 13, 19, 16, 12, 13, 19, 12, 9, 11, 17, 11, 9, 13, 14, 10, 17, 17, 14, 17, 10, 16, 14, 19, 17, 19, 9, 14, 20, 1, 16, 12, 11, 19, 16, 18, 9, 16, 9, 16, 17, 14, 18, 18, 14, 16, 9, 18, 15, 10, 18, 12**Cantidad:** 0.644 m2 **D:** 32, 28, 25, 33, 28, 38, 42**Concepto de Trabajo:** Techo**Tarea:** Colado de Trabe**Unidad:** Metros Cúbicos**Recursos:** 1 trabajador**Duración (D):** minutos**Cantidad:** 0.0484 m3 **D:** 9.0, 6.0, 9.0**Cantidad:** 0.0300 m3 **D:** 8.0, 12.0, 9.0, 11.0, 11.0, 8.0, 10.0, 15.0, 12.0, 9.0, 9.0, 9.0, 12.0, 12.0, 9.0, 11.0, 10.0, 10.0, 13.0, 10.0, 15.0, 11.0, 10.0, 9.0, 11.0, 14.0, 12.0, 10.0, 14.0, 11.0, 14.0, 8.0, 8.0, 11.0, 11.0, 13.0, 11.0, 13.0, 11.0, 13.0, 14.0, 9.0, 14.0, 15.0, 10.0, 12.0, 13.0, 10.0, 10.0, 10.0, 12.0, 12.0, 13.0, 10.0, 10.0, 9.0, 11.0, 10.0, 9.0, 10.0, 11.0, 9.0, 10.0, 13.0, 13.0, 8.0**Concepto de Trabajo:** Techo**Tarea:** Acarreo de Acero de refuerzo**Unidad:** Varillas de 6 ml**Recursos:** 1 trabajador**Duración (D):** minutos**Distancia:** 14 metros **Cantidad:** 0.5 varilla **D:** 0.25, 0.23, 0.27, 0.22, 0.23, 0.23, 0.13, 0.23, 0.17, 0.18, 0.13, 0.18, 0.27, 0.28, 0.23, 0.23, 0.27, 0.22, 0.18, 0.15, 0.23, 0.27, 0.17, 0.28, 0.23, 0.2, 0.13, 0.22, 0.25, 0.22, 0.2, 0.25, 0.22, 0.18, 0.18, 0.2, 0.2, 0.15, 0.15, 0.2, 0.22, 0.18**Distancia:** 20 metros **Cantidad:** 0.5 varilla **D:** 0.25, 0.25, 0.23, 0.22, 0.45, 0.20, 0.22, 0.35, 0.22, 0.38, 0.45, 0.33, 0.23, 0.22, 0.35, 0.27, 0.28, 0.42, 0.17, 0.32, 0.17, 0.40, 0.42, 0.35, 0.32, 0.33, 0.40, 0.17, 0.22, 0.40, 0.20, 0.43, 0.38, 0.28, 0.28, 0.30, 0.35, 0.43, 0.22, 0.33, 0.30, 0.29, 0.25, 0.45, 0.19, 0.25, 0.33, 0.30, 0.32, 0.35, 0.28, 0.24, 0.26, 0.31, 0.33, 0.45, 0.28, 0.27**Distancia:** 40 metros **Cantidad:** 0.5 varilla **D:** 0.58, 0.67, 0.62, 0.95, 0.78, 0.82, 0.50, 0.72, 0.58, 0.80, 0.53**Concepto de Trabajo:** Techo**Tarea:** Habilitado de acero perimetral**Unidad:** metro lineal**Recursos:** 1 trabajador**Duración (D):** minutos**Cantidad:** 1 ml **D:** 0.23, 0.27, 0.22, 0.23, 0.23, 0.13, 0.23, 0.17, 0.18, 0.13, 0.18, 0.27, 0.28, 0.23, 0.23, 0.27, 0.22, 0.18, 0.15, 0.23, 0.27, 0.17, 0.28, 0.23, 0.2, 0.13, 0.22, 0.25, 0.22, 0.2, 0.25, 0.22, 0.18, 0.18, 0.2, 0.2, 0.15, 0.15, 0.2, 0.22, 0.18, 0.25, 0.25, 0.23, 0.22, 0.45, 0.2, 0.22, 0.35, 0.22, 0.38, 0.45, 0.33, 0.23, 0.22, 0.35, 0.27, 0.28, 0.42, 0.17, 0.32, 0.17, 0.4, 0.42, 0.35, 0.32, 0.33, 0.4, 0.17, 0.22, 0.4, 0.2, 0.43, 0.38, 0.28, 0.28, 0.3, 0.35, 0.43, 0.22, 0.33, 0.3, 0.29, 0.25, 0.45, 0.19, 0.25, 0.33, 0.3, 0.32, 0.35, 0.28, 0.24, 0.26, 0.31, 0.33, 0.45, 0.28, 0.27, 0.58, 0.67, 0.62, 0.95, 0.78, 0.82, 0.5, 0.72, 0.58, 0.8, 0.53

**Concepto de Trabajo:** Techo**Tarea:** Habilitado de acero para Trabe**Unidad:** metro lineal**Recursos:** 1 trabajador**Duración (D):** minutos**Cantidad:** 1 ml      **D:** 5.0, 7.0, 6.5, 7.0, 6.4, 5.5, 6.5, 9.0, 5.5, 6.5, 8.5, 5.0, 4.5, 4.5, 5.0, 6.5, 5.0**Cantidad:** 1.5 ml      **D:** 6.25, 8.0**Cantidad:** 2.0 ml      **D:** 7.0, 7.0**Cantidad:** 2.5 ml      **D:** 10.0**Cantidad:** 3.0 ml      **D:** 15.0, 18.0, 20.0, 20.0, 22.0**Cantidad:** 6.0 ml      **D:** 28.0, 30.0, 35.0**Concepto de Trabajo:** Techo**Tarea:** Cimbrado Perimetral de Losa**Unidad:** Metro Cuadrado**Recursos:** 1 trabajador**Duración (D):** minutos**Cantidad:** 0.72 m2      **D:** 15.2, 17.5, 15.4, 16.2, 16.3, 16.7, 18.4, 17.6, 17.9, 18.5, 18.3, 18.2, 17.0, 16.3, 17.4, 17.0, 15.0**Cantidad:** 0.75 m2      **D:** 23.0, 30.0, 30.0, 29.0, 28.0, 26.0, 30.0, 23.0, 30.0**Cantidad:** 0.76 m2      **D:** 23.5, 31.4, 20.0, 25.0**Concepto de Trabajo:** Techo**Tarea:** Apuntalamiento de Losa**Unidad:** Metro Cuadrados**Recursos:** 1 trabajador**Duración (D):** minutos**Cantidad:** 58 m2      **D:** 31.2, 35.1, 46.8, 29.3, 43.6, 38.4, 31.2, 41.0, 42.3, 34.5, 31.2, 29.3, 35.8, 35.1, 39.0, 46.2, 45.5, 42.9, 46.2, 39.7**Cantidad:** 79 m2      **D:** 44.2, 44.2, 48.8, 48.1, 42.3, 35.8, 57.9, 38.4, 41.0, 47.5, 60.5, 37.1**Concepto de Trabajo:** Techo**Tarea:** Cimbrado de Losa**Unidad:** Metro Cuadrados**Recursos:** 1 trabajador**Duración (D):** minutos**Cantidad:** 58 m2      **D:** 16.8, 18.9, 25.2, 15.8, 23.5, 20.7, 16.8, 22.1, 22.8, 18.6, 16.8, 15.8, 19.3, 18.9, 21.0, 24.9, 24.5, 23.1, 24.9, 21.4**Cantidad:** 79 m2      **D:** 23.8, 23.8, 26.3, 25.9, 22.8, 19.3, 31.2, 20.7, 22.1, 25.6, 32.6, 20.0**Concepto de Trabajo:** Techo**Tarea:** Colocación de acero en Losa**Unidad:** metro lineal**Recursos:** 1 trabajador**Duración (D):** minutos**Cantidad:** 1 ml      **D:** 0.3, 0.5, 0.3, 0.3, 0.5, 0.8, 0.3, 0.8, 0.3, 0.8, 0.3, 0.8, 0.3, 0.3, 0.8, 1.0, 1.0**Cantidad:** 1.2 ml      **D:** 0.5, 0.8, 0.8, 1.1**Cantidad:** 1.4 ml      **D:** 0.8**Cantidad:** 1.5 ml      **D:** 0.8, 0.3, 0.3, 0.5, 0.5, 0.8, 1.0, 0.3, 1.3, 1.3, 1.3**Cantidad:** 1.6 ml      **D:** 1.3, 1.0, 0.5, 1.0, 1.0**Cantidad:** 1.8 ml      **D:** 0.8, 1.0**Cantidad:** 2.0 ml      **D:** 0.4, 0.3, 0.5, 0.8, 1.0, 0.3, 1.0, 0.5, 0.5, 1.0, 0.5, 1.0, 0.5, 0.8, 1.3, 0.3, 0.3, 0.3, 1.3, 0.5, 1.3, 1.0, 0.8, 1.0, 0.3, 0.8, 0.3, 1.3**Cantidad:** 3.0 ml      **D:** 1.0

**Concepto de Trabajo:** Techo

**Tarea:** Colocación de malla electro soldada

**Unidad:** Metro Cuadrados

**Recursos:** 1 trabajador

**Duración (D):** minutos

**Cantidad:** 58 m2

**D:** 5.6, 3.8, 6.2, 4.0, 3.4, 4.4, 5.0, 4.0, 5.2, 5.6, 4.6, 7.0, 5.4, 5.6, 5.6, 6.4, 6.2, 6.6, 6.6, 5.4

**Cantidad:** 79 m2

**D:** 10.0, 7.0, 7.0, 9.5, 9.0, 1.3, 7.3, 10.0, 7.8, 8.0, 7.3, 8.5

**Concepto de Trabajo:** Techo

**Tarea:** Colado de Losa con concreto premezclado

**Unidad:** Metro Cúbico

**Recursos:** 1 trabajador

**Duración (D):** minutos

**Cantidad:** 58 m2

**D:** 22.4, 15.2, 24.8, 16.0, 13.6, 17.6, 20.0, 16.0, 20.8, 22.4, 18.4, 28.0, 21.6, 22.4, 22.4, 25.6, 24.8, 26.4, 26.4, 21.6

**Cantidad:** 79 m2

**D:** 22.4, 15.2, 24.8, 30.0, 21.0, 21.0, 28.5, 27.0, 3.8, 21.8, 30.0, 23.3, 24.0, 21.8, 25.5

## APENDICE B. Productividades encontradas de las tareas estudiadas

**Concepto de Trabajo:** Muro      **Tarea:** Acarreo de bloques de concreto

**Productividad (P):** pieza/minuto      **Recursos:** 1 trabajador      **Distancia:** 7 metros

P: 6.43, 8.57, 4.29, 4.29, 4.29, 12.86, 7.62, 8.57, 4.29, 8.57, 5.14, 5.71, 5.14, 5.71, 5.14, 4.57, 2.14, 7.71, 7.71, 7.71, 10.29, 10.29, 10.29, 10.29, 6.43, 5.14, 6.86, 5.79, 4.63, 6.86, 14.29, 7.14, 14.29, 7.14, 14.29, 14.29, 14.29, 14.29, 7.14, 14.29, 14.29, 14.29, 7.14, 14.29, 14.29, 10.00, 6.67, 6.67, 10.00, 6.67, 6.67, 6.67, 6.67, 6.67, 5.00, 6.67, 10.00, 6.67, 6.67, 6.67, 10.00, 6.67, 6.67, 6.67, 10.00, 10.00, 7.14, 7.14, 7.14, 6.12, 7.14, 7.14, 7.14, 5.36, 6.12, 7.14, 7.14, 7.14, 7.14, 6.12, 7.14, 7.14, 7.14, 7.14, 7.14, 7.14, 7.14, 6.12, 6.12, 6.12, 6.12, 6.12, 6.12, 7.14, 7.14, 4.76, 9.52, 9.52, 8.16, 3.81, 5.71, 9.52, 8.16, 7.14, 6.35, 6.35, 7.14, 8.16, 9.52, 5.71, 5.71, 7.14, 8.16, 7.14, 8.16, 6.35, 9.52, 5.71, 7.14, 8.16, 7.14, 6.35, 7.14, 7.14, 7.14, 6.35, 6.35, 5.71, 4.29, 4.90, 4.44, 40.00, 4.00, 5.00, 5.00, 5.71, 6.67, 4.00, 5.71, 4.44, 7.62, 6.53, 7.62, 5.71, 9.14, 6.53, 5.71, 5.08, 5.08, 5.08, 5.71, 4.57, 10.29, 10.29, 5.71, 7.35, 5.71, 4.68, 6.43, 6.35, 5.71

**Concepto de Trabajo:** Muro      **Tarea:** Pegado y verificación de escuadra de plantilla de block

**Productividad (P):** pieza/minuto      **Recursos:** 1 trabajador

P: 0.33, 0.50, 0.36, 0.30, 0.25, 0.25, 0.42, 0.38, 0.50, 0.57, 0.80, 0.57, 0.63, 0.33, 0.25, 0.86, 0.75, 0.63, 0.50, 0.60, 0.75, 0.60, 0.57, 0.83, 0.47, 0.54, 0.63, 0.75, 0.33, 0.33, 0.50, 0.33, 0.25, 0.33, 0.25, 0.33, 0.33, 0.50, 0.50, 0.67, 0.67, 0.50, 0.67, 0.67, 0.50, 0.60, 0.75, 0.75, 0.60, 0.60, 0.75, 0.80, 0.57, 0.57, 0.57, 0.80, 0.83, 0.83, 1.00, 0.53, 0.67, 0.67

**Concepto de Trabajo:** Muro      **Tarea:** Tarea: Pegado y nivelación de block

**Productividad (P):** pieza/minuto      **Recursos:** 1 trabajador

P: 0.56, 0.50, 0.63, 1.00, 0.50, 0.60, 0.68, 0.89, 0.50, 0.75, 0.60, 1.22, 0.78, 0.60, 1.25, 0.89, 1.07, 1.10, 0.83, 0.50, 0.75, 0.50, 0.50, 0.60, 0.50, 0.38, 0.60, 0.71, 0.44, 0.44, 1.00, 1.00, 1.00, 1.00, 1.00, 1.00, 0.50, 0.50, 0.50, 1.00, 1.00, 1.00, 1.00, 1.00, 1.00, 0.50, 0.40, 1.00, 1.00, 1.00, 1.00, 1.00, 1.00, 0.50, 0.50, 1.00, 1.00, 0.50, 1.00, 1.00, 1.00, 1.00, 1.00, 1.00, 1.00, 1.00, 1.00, 0.67, 1.00, 0.50, 0.50, 1.00, 1.00, 0.50, 1.00, 1.00, 1.00, 1.00, 0.67, 0.53, 1.00, 1.00, 1.00, 0.50, 0.50, 1.00, 1.00, 1.00, 1.00, 0.50, 2.00, 0.67, 2.00, 1.00, 0.67, 1.00, 1.00, 0.67, 1.00, 1.00, 1.00, 1.00, 2.00, 1.00, 1.00, 1.00, 0.50, 0.67, 2.00, 1.00, 1.00, 1.00, 2.00, 0.50, 1.00, 0.67, 2.00, 1.00, 2.00, 1.00, 2.00, 1.00, 1.00, 1.00, 2.00, 2.00, 1.00, 2.00, 1.00, 0.67, 1.00, 1.00, 2.00, 1.00, 1.00, 2.00, 1.00, 0.50, 1.00, 0.67, 1.00, 0.67, 2.00, 1.00, 2.00, 1.00, 2.00, 1.00, 1.00, 0.60, 1.00, 1.50, 1.00, 1.50, 1.50, 1.00, 1.00, 1.00, 0.75, 1.50, 0.75, 1.00, 3.00, 1.50, 1.00, 0.75, 1.50, 0.75, 1.00, 1.00, 1.50, 1.00, 1.00, 1.00, 0.60, 0.60, 1.50, 1.00, 1.00, 0.75, 0.75, 0.57, 0.57, 1.00, 0.57, 1.33, 0.80, 0.57, 1.33, 1.00, 1.25, 1.25, 1.00, 1.20, 1.20, 1.00, 1.00, 0.75, 0.58, 0.54, 0.70, 0.53, 0.53, 0.79, 0.85, 0.75, 1.00, 1.00, 0.63, 1.20, 1.09, 0.63, 1.09, 1.07, 1.13, 1.11, 1.33

**Concepto de Trabajo:** Muro      **Tarea:** Preparación de mortero

**Productividad (P):** Cubeta/minuto      **Recursos:** 1 trabajador      **Unidad:** Cubeta de 19 Litros

P: 0.50, 0.27, 0.25, 0.29, 0.40, 0.33, 0.40, 0.44, 0.29, 0.31, 0.36, 0.31, 0.56, 0.64, 0.45, 0.37, 0.32, 0.45, 0.34, 0.34, 0.32, 0.37, 0.29, 0.30, 0.32, 0.37, 0.26, 0.38, 0.24, 0.33, 0.45, 0.23, 0.26, 0.24, 0.41, 0.74, 0.74, 0.33, 0.31, 0.37, 0.41, 0.61, 0.26, 0.28, 0.92, 0.33, 0.28, 0.92, 0.61, 0.41, 0.61, 0.26, 0.74, 0.26, 0.74, 0.31, 0.46, 0.31, 0.31, 0.28, 0.26, 0.74, 0.41, 0.46, 0.61, 0.28, 0.41, 0.28, 0.53, 0.41, 0.31, 0.28, 0.28, 0.28, 0.46, 0.53, 0.33, 0.28, 0.41, 0.41, 0.28, 0.31, 0.28, 0.74, 0.41, 0.41, 0.92, 0.53, 0.92, 0.53, 0.41, 0.74, 0.26, 0.53, 0.53, 0.61, 0.41, 1.23, 0.37, 0.92, 0.53, 0.92, 0.53, 0.61, 0.46, 0.61, 0.46, 0.61, 0.92, 0.46, 0.53, 0.53, 0.70, 0.60, 0.42, 0.35, 0.42, 0.30, 0.42, 0.32, 0.32, 0.30, 0.35, 0.84, 0.70, 0.32, 0.60, 0.84, 0.47, 0.53, 0.28, 0.29, 0.31, 0.36, 0.25, 0.36, 0.22, 0.34, 0.32, 0.34, 0.31, 0.31, 0.16, 0.36, 0.22, 0.24, 0.24, 0.59, 0.22, 0.32, 0.24, 0.26, 0.26, 0.28, 0.24, 0.22, 0.23, 0.32, 0.25, 0.36, 0.30, 0.28

**Concepto de Trabajo:** Muro y Techo **Tarea:** Acarreo de mezcla (Mortero y Concreto)

**Productividad (P):** Cubeta/minuto **Recursos:** 1 trabajador **Distancia:** 5 metros

P: 7.0, 3.5, 7.0, 3.5, 7.0, 7.0, 7.0, 3.5, 3.5, 3.5, 3.5, 7.0, 6.0, 3.0, 3.0, 6.0, 3.0, 6.0, 3.0, 6.0, 6.0, 3.0, 3.0, 6.0, 3.0, 3.0, 3.0, 3.0, 3.0, 1.9, 1.8, 2.3, 1.8, 2.9, 1.8, 2.3, 2.4, 2.3, 2.2, 2.4, 2.3, 2.2, 2.1, 2.3, 2.5, 3.1, 2.9, 2.8, 2.7, 3.5, 2.6, 2.6, 3.5, 2.4, 2.4, 2.6, 3.5, 2.6, 3.2, 2.4, 3.3, 2.1, 2.7, 3.2, 2.4, 2.4, 2.6, 3.1, 3.0, 3.2, 2.9, 2.1, 2.2, 2.3, 2.4, 2.2, 2.1, 2.0, 1.9, 2.2, 1.8, 1.8, 1.8, 2.2, 2.1, 2.0, 1.7, 2.6, 1.8, 2.2, 1.8, 1.8, 2.1, 2.0, 1.8, 1.7, 2.2, 2.0, 1.6, 2.4, 2.7, 2.0, 3.5, 3.1, 1.6, 3.4, 2.5, 1.3, 1.5, 2.5, 3.1, 3.5, 1.8, 1.9, 2.8, 2.0, 2.2, 3.2, 2.0, 2.2, 2.1, 1.9, 2.4, 2.2, 2.6, 3.3, 3.1, 3.0, 3.4, 2.0, 3.0, 2.2, 1.7, 3.5, 2.4, 2.5, 2.1, 2.7, 2.5, 2.0, 2.7, 2.2, 2.1, 2.1, 2.5, 2.7, 2.4, 2.7, 2.2, 2.2, 2.5, 2.5, 2.6, 2.7, 2.4, 2.2, 2.1, 2.1, 2.3, 2.5, 2.7, 2.0, 1.9, 1.9, 1.8, 2.3, 1.8, 2.9, 1.8, 2.3, 2.4, 2.3, 2.2, 2.4, 2.3, 2.2, 2.1, 2.3, 2.5, 3.1, 2.9, 2.8, 2.7, 2.5, 1.8, 1.8, 2.5, 1.7, 1.7, 1.8, 2.5, 1.8, 2.3, 1.7, 2.3, 1.4, 1.9, 2.2, 2.4, 2.4, 2.6, 3.1, 3.0, 3.2, 2.9, 2.1, 2.2, 2.3, 2.0, 1.8, 1.8, 1.7, 1.6, 1.9, 1.5, 1.5, 1.5, 1.9, 1.7, 1.7, 1.4, 2.2, 1.5, 1.9, 1.5, 1.5, 2.6, 2.5, 10.0, 1.5, 1.9, 1.8, 1.4, 4.5, 2.0, 1.5, 2.6, 2.3, 1.2, 2.5, 1.9, 1.5, 1.1, 1.9, 2.3, 2.6, 1.3, 1.4, 2.1, 1.5, 1.6, 2.4, 1.5, 1.6, 1.6, 1.4, 1.8, 1.7, 2.0, 3.3, 3.1, 3.0, 3.4, 2.0, 3.0, 3.4, 1.7, 3.5, 2.4, 2.5, 2.1, 2.7, 2.5, 2.0, 2.7, 2.2, 2.1, 2.1, 2.5, 2.7, 2.4, 2.7, 2.2, 2.2, 2.5, 6.5, 2.6, 2.7, 2.4, 2.2, 2.1, 2.1, 2.3, 2.5, 2.7, 2.1, 1.9

**Concepto de Trabajo:** Muro y Techo **Tarea:** Armado de andamio

**Productividad (P):** Pieza/minuto **Recursos:** 1 trabajador

P: 0.25, 0.29, 0.34, 0.30, 0.23, 0.39, 0.27, 0.26, 0.15, 0.23, 0.11, 0.19, 0.16, 0.12, 0.16, 0.48, 0.14, 0.15, 0.11, 0.17, 0.13, 0.13, 0.12, 0.12, 0.17, 0.19, 0.16, 0.22, 0.12, 0.16, 0.12, 0.26, 0.31, 0.18, 0.24, 0.20, 0.13, 0.12, 0.11, 0.20, 0.17, 0.15, 0.20, 0.21, 0.23, 0.12, 0.17, 0.12, 0.11, 0.28, 0.16, 0.12, 0.19, 0.17, 0.13, 0.12, 0.16, 0.12, 0.26, 0.14, 0.16, 0.22, 0.18, 0.16, 0.19, 0.11, 0.18, 0.17, 0.17, 0.16, 0.20, 0.18, 0.12, 0.14, 0.11, 0.23, 0.13, 0.19, 0.14, 0.13, 0.19, 0.15, 0.17, 0.19, 0.20, 0.26, 0.13, 0.20, 0.13, 0.29, 0.20, 0.29, 0.13, 0.27, 0.12, 0.12, 0.26, 0.26, 0.23, 0.25, 0.23, 0.13, 0.16, 0.29, 0.29, 0.14, 0.17, 0.13, 0.18, 0.19, 0.11, 0.29, 0.15, 0.28, 0.21, 0.14, 0.12, 0.16, 0.22, 0.12, 0.16, 0.19, 0.11, 0.23, 0.21, 0.15, 0.26, 0.28, 0.27, 0.27, 0.48, 0.38, 0.23, 0.39, 0.36, 0.29, 0.49, 0.27, 0.43, 0.31, 0.27, 0.43, 0.28, 0.26, 0.23, 0.41, 0.28, 0.30, 0.24, 0.48, 0.34, 0.46, 0.29, 0.25, 0.43, 0.25

**Concepto de Trabajo:** Muro y Techo **Tarea:** Acarreo de material para preparación de mezcla (Mortero y Concreto)

**Productividad (P):** Cubetas/minuto **Recursos:** 1 trabajador **Distancia:** 8 metros

P: 1.88, 0.75, 1.00, 0.68, 0.63, 0.63, 0.63, 0.83, 1.22, 1.14, 1.41, 1.14, 1.82, 1.09, 1.46, 1.51, 1.41, 1.39, 1.51, 1.41, 1.35, 1.29, 1.46, 1.54, 1.94, 1.82, 1.75, 1.68, 2.19, 1.62, 1.62, 2.19, 1.51, 1.52, 1.62, 2.19, 1.60, 2.02, 1.52, 2.08, 1.29, 1.67, 1.98, 1.52, 1.47, 1.60, 1.92, 1.87, 1.98, 1.79, 1.29, 1.36, 1.44, 1.50, 1.36, 1.33, 1.27, 1.17, 1.36, 1.15, 1.13, 1.09, 1.39, 1.30, 1.25, 1.07, 1.61, 1.15, 1.40, 1.15, 1.11, 1.30, 1.23, 1.15, 1.06, 1.35, 1.27, 0.98, 1.50, 1.67, 1.25, 2.17, 1.95, 1.00, 2.10, 1.55, 0.83, 0.91, 1.57, 1.92, 2.19, 1.10, 1.16, 1.74, 1.25, 1.35, 2.00, 1.25, 1.35, 1.30, 1.20, 1.50, 1.39, 1.63, 2.08, 1.97, 1.87, 2.14, 1.25, 1.85, 1.39, 1.06, 2.17, 1.50, 1.53, 1.32, 1.69, 1.58, 1.25, 1.69, 1.37, 1.30, 1.28, 1.53, 1.67, 1.52, 1.69, 1.35, 1.37, 1.53, 1.54, 1.64, 1.67, 1.49, 1.37, 1.28, 1.30, 1.41, 1.54, 1.70, 1.26, 1.21, 1.22, 1.14, 1.41, 1.14, 1.82, 1.09, 1.46, 1.51, 1.41, 1.39, 1.51, 1.41, 1.35, 1.29, 1.46, 1.54, 1.94, 1.82, 1.75, 1.68, 1.54, 1.14, 1.14, 1.54, 1.05, 1.07, 1.14, 1.54, 1.12, 1.41, 1.07, 1.46, 0.90, 1.17, 1.39, 1.52, 1.47, 1.60, 1.92, 1.87, 1.98, 1.79, 1.29, 1.36, 1.44, 1.25, 1.14, 1.11, 1.06, 0.98, 1.21, 0.95, 0.94, 0.91, 1.16, 1.09, 1.04, 0.89, 1.34, 0.96, 1.17, 0.96, 0.93, 1.63, 1.54, 6.25, 0.94, 1.19, 1.12, 0.86, 2.80, 1.25, 0.94, 1.63, 1.46, 0.75, 1.58, 1.16, 0.63, 0.68, 1.18, 1.44, 1.64, 0.82, 0.87, 1.30, 0.94, 1.01, 1.50, 0.94, 1.01, 0.97, 0.90, 1.12, 1.04, 1.23, 2.08, 1.97, 1.87, 2.14, 1.25, 1.85, 2.12, 1.06, 2.17, 1.50, 1.53, 1.32, 1.69, 1.58, 1.25, 1.69, 1.37, 1.30, 1.28, 1.53, 1.67, 1.52, 1.69, 1.35, 1.37, 1.53, 4.03, 1.64, 1.67, 1.49, 1.37, 1.28, 1.30, 1.41, 1.54, 1.70, 1.32, 1.21

**Concepto de Trabajo:** Muro y Techo **Tarea:** Acarreo de cimbra (Castillos, Cerramientos y Cadenas)

**Productividad (P):** Tablas/minuto **Recursos:** 1 trabajador **Distancia:** 15 metros

P: 4.06, 3.46, 4.24, 4.06, 4.06, 7.18, 4.06, 5.49, 5.19, 7.18, 5.19, 3.46, 3.33, 4.06, 4.06, 3.46, 4.24, 5.19, 6.22, 4.06, 3.46, 5.49, 3.33, 4.06, 4.67, 7.18, 4.24, 3.73, 4.24, 4.67, 3.73, 4.24, 5.19, 5.19, 4.67, 4.67, 6.22, 6.22, 4.67, 4.24, 5.19, 5.33, 5.33, 5.80, 6.06, 2.96, 6.67, 6.06, 3.81, 6.06, 3.51, 2.96, 4.04, 5.80, 6.06, 3.81, 4.94, 4.76, 3.17, 7.84, 4.17, 7.84, 3.33, 3.17, 3.81, 4.17, 4.04, 3.33, 7.84, 6.06, 3.33, 6.67, 3.10, 3.51, 4.76, 4.76, 4.44, 3.81, 3.10, 6.06, 4.04, 4.44, 4.60, 5.33, 2.96, 7.02, 5.33, 4.04, 4.44, 4.17, 3.81, 4.76, 5.56, 5.13, 4.30, 4.04, 2.96, 4.76, 4.94, 4.60, 3.98, 4.30, 2.81, 3.42, 3.25, 5.33, 3.70, 4.60, 3.33, 5.03

**Concepto de Trabajo:** Muro y Techo      **Tarea:** Preparación de Concreto

**Productividad (P):** Cubeta/minuto      **Recursos:** 1 trabajador      **Unidad:** Cubeta de 19 Litros

**P:** 0.83, 0.67, 1.25, 0.71, 0.47, 0.32, 0.28, 0.39, 0.47, 0.34, 0.28, 0.43, 0.36, 0.36, 0.28, 0.32, 0.30, 0.36, 0.47, 0.30, 0.28, 0.36, 0.39, 0.36, 0.28, 0.47, 0.39, 0.36, 0.32, 0.39, 0.28, 0.32, 0.47, 0.43, 0.32, 0.28, 0.39, 0.32, 0.43, 0.39, 0.32, 0.30, 0.30, 0.47, 0.34, 0.28, 0.32, 0.47, 0.34, 0.36, 0.53, 0.43, 0.36, 0.43, 0.43, 0.28, 0.30, 0.53, 0.28, 0.30, 0.28, 0.28, 0.47, 0.28, 0.47, 0.39, 0.43, 0.53, 0.36, 0.47, 0.34, 0.30, 0.39, 0.28, 0.53, 0.47, 0.36, 0.39, 0.39, 0.43, 0.32, 0.39, 0.53, 0.47, 0.53, 0.43, 0.47, 0.47, 0.36, 0.32, 0.39, 0.43, 0.28, 0.32, 0.34, 0.47, 0.36, 0.39, 0.53, 0.26, 0.47, 0.39, 0.36, 0.47, 0.30, 0.32, 0.36, 0.28, 0.36, 0.39, 0.36, 0.34, 0.28, 0.39, 0.47, 0.32, 0.36, 0.32, 0.32, 0.28, 0.26, 0.43, 0.47, 0.53, 0.36, 0.26, 0.28, 0.26, 0.36, 0.39, 0.32, 0.25, 0.36, 0.28, 0.30

**Concepto de Trabajo:** Muro      **Tarea:** Cimbrado de Castillo

**Productividad (P):** m2/minuto      **Recursos:** 1 trabajador

**P:** 0.039, 0.041, 0.036, 0.047, 0.073, 0.085, 0.058, 0.059, 0.044, 0.061, 0.047, 0.044, 0.044, 0.043, 0.056, 0.048, 0.044, 0.043, 0.072, 0.058, 0.087, 0.055, 0.050, 0.053, 0.044, 0.048, 0.055, 0.071, 0.058, 0.068, 0.064, 0.042, 0.054, 0.072, 0.044, 0.046, 0.074, 0.064, 0.069, 0.062, 0.041, 0.069, 0.061, 0.045, 0.042, 0.049, 0.039, 0.080, 0.043, 0.067, 0.039, 0.056, 0.057, 0.047, 0.046, 0.062, 0.057, 0.061, 0.059, 0.051, 0.048, 0.040, 0.051, 0.051, 0.051, 0.075, 0.059, 0.053, 0.042, 0.061, 0.053, 0.059, 0.055, 0.058, 0.049, 0.054, 0.044, 0.044, 0.042, 0.046, 0.053, 0.046, 0.052, 0.048, 0.068, 0.075, 0.071, 0.048, 0.080, 0.049, 0.054, 0.056, 0.057, 0.073, 0.044, 0.049, 0.061, 0.040, 0.041, 0.050, 0.042, 0.049, 0.042, 0.064, 0.051, 0.048, 0.042

**Concepto de Trabajo:** Muro

**Tarea:** Colado de Castillo

**Productividad (P):** m3/minuto      **Recursos:** 1 trabajador      **Método:** Concreto hecho en sitio

**P:** 0.0043, 0.0070, 0.0043, 0.0030, 0.0060, 0.0045, 0.0030, 0.0068, 0.0036, 0.0030, 0.0036, 0.0036, 0.0045, 0.0028, 0.0049, 0.0042, 0.0036, 0.0045, 0.0034, 0.0060, 0.0049, 0.0039, 0.0049, 0.0049, 0.0042, 0.0027, 0.0027, 0.0028, 0.0068, 0.0068, 0.0054, 0.0054, 0.0049, 0.0028, 0.0032, 0.0032, 0.0045, 0.0060, 0.0060, 0.0027, 0.0039, 0.0054, 0.0049, 0.0054, 0.0049, 0.0030, 0.0030, 0.0042, 0.0036, 0.0045, 0.0049, 0.0039, 0.0028, 0.0054, 0.0068, 0.0036, 0.0042, 0.0054, 0.0039, 0.0032, 0.0034, 0.0032, 0.0030, 0.0060, 0.0027, 0.0054, 0.0030, 0.0034, 0.0060, 0.0032, 0.0027, 0.0034, 0.0042, 0.0060, 0.0027, 0.0028, 0.0028, 0.0039, 0.0039, 0.0034, 0.0045, 0.0045, 0.0030, 0.0032, 0.0032, 0.0036, 0.0042, 0.0039, 0.0027, 0.0028, 0.0042, 0.0039, 0.0045, 0.0027, 0.0027, 0.0042, 0.0045, 0.0068, 0.0068, 0.0060, 0.0028, 0.0068, 0.0042, 0.0054, 0.0049, 0.0036

**Concepto de Trabajo:** Muro

**Tarea:** Cimbrado de Cerramiento

**Productividad (P):** m2/minuto      **Recursos:** 1 trabajador

**P:** 0.020, 0.023, 0.026, 0.020, 0.023, 0.017, 0.015, 0.031, 0.025, 0.038, 0.041, 0.050, 0.025, 0.024, 0.060, 0.060, 0.050, 0.067, 0.055, 0.055, 0.033, 0.043, 0.032, 0.050, 0.067, 0.040, 0.040, 0.067, 0.055, 0.067, 0.060, 0.043, 0.055, 0.035, 0.060, 0.043, 0.040, 0.060, 0.067, 0.055, 0.067, 0.067, 0.067, 0.067, 0.046, 0.038, 0.046, 0.032, 0.038, 0.050, 0.046, 0.032, 0.050, 0.067, 0.055, 0.035, 0.055, 0.067, 0.046, 0.043, 0.060, 0.035, 0.035, 0.043, 0.035, 0.060, 0.038, 0.043, 0.032, 0.035, 0.032, 0.067, 0.043, 0.030, 0.600, 0.038, 0.050, 0.055, 0.032, 0.038, 0.033, 0.067, 0.038, 0.067, 0.038, 0.035, 0.043, 0.033, 0.033, 0.043, 0.038, 0.067, 0.033, 0.040, 0.060, 0.033, 0.050

**Concepto de Trabajo:** Muro

**Tarea:** Descimbrado de elementos (Castillos, Cerramientos y Cadenas)

**Productividad (P):** m2/minuto      **Recursos:** 1 trabajador

**P:** 0.090, 0.144, 0.080, 0.103, 0.120, 0.065, 0.080, 0.103, 0.080, 0.144, 0.065, 0.120, 0.080, 0.144, 0.065, 0.144, 0.072, 0.144, 0.065, 0.144, 0.075, 0.100, 0.060, 0.100, 0.067, 0.100, 0.086, 0.060, 0.120, 0.120

**Concepto de Trabajo:** Muro                      **Tarea:** Colado de Cerramiento

**Productividad (P):** m3/minuto                      **Recursos:** 1 trabajador

P: 0.00538, 0.00807, 0.00372, 0.00150, 0.00250, 0.00333, 0.00273, 0.00273, 0.00375, 0.00158, 0.00188, 0.00300, 0.00150, 0.00150, 0.00176, 0.00200, 0.00150, 0.00250, 0.00333, 0.00333, 0.00333, 0.00333, 0.00150, 0.00200, 0.00158, 0.00250, 0.00333, 0.00176, 0.00167, 0.00273, 0.00300, 0.00300, 0.00231, 0.00158, 0.00300, 0.00200, 0.00273, 0.00300, 0.00333, 0.00273, 0.00214, 0.00158, 0.00250, 0.00300, 0.00214, 0.00273, 0.00214, 0.00158, 0.00200, 0.00200, 0.00273, 0.00200, 0.00375, 0.00188, 0.00375, 0.00188, 0.00167, 0.00167, 0.00273, 0.00273, 0.00176, 0.00231, 0.00273, 0.00231, 0.00273, 0.00231, 0.00167, 0.00167, 0.00214, 0.00333, 0.00214, 0.00200, 0.00300, 0.00250, 0.00176, 0.00231, 0.00188, 0.00188, 0.00150, 0.00300, 0.00300, 0.00300, 0.00188, 0.00250, 0.00250, 0.00231, 0.00300, 0.00150, 0.00231, 0.00333, 0.00273, 0.00300, 0.00333, 0.00200, 0.00176, 0.00176, 0.00167, 0.00300, 0.00273, 0.00333, 0.00300, 0.00231, 0.00231, 0.00375, 0.00176, 0.00375, 0.00200

**Concepto de Trabajo:** Muro                      **Tarea:** Cimbrado de Cadena de nivelación

**Productividad (P):** m2/minuto                      **Recursos:** 1 trabajador

P: 0.0203, 0.0259, 0.0221, 0.0221, 0.0188, 0.0326, 0.0250, 0.0323, 0.0242, 0.0474, 0.0411, 0.0468, 0.0444, 0.0442, 0.0431, 0.0391, 0.0409, 0.0402, 0.0389, 0.0393, 0.0396, 0.0424, 0.0442, 0.0414, 0.0424, 0.0480, 0.0250, 0.0259, 0.0268, 0.0288, 0.0250, 0.0326, 0.0250, 0.0380, 0.0304

**Concepto de Trabajo:** Muro                      **Tarea:** Colado de Cadena de nivelación

**Productividad (P):** m3/minuto                      **Recursos:** 1 trabajador

P: 0.00288, 0.00375, 0.00288, 0.00538, 0.00807, 0.00372, 0.00150, 0.00150, 0.00150, 0.00176, 0.00200, 0.00150, 0.00158, 0.00200, 0.00200, 0.00188, 0.00167, 0.00167, 0.00176, 0.00375, 0.00200, 0.00273, 0.00214, 0.00158, 0.00360, 0.00300, 0.00360, 0.00270, 0.00270, 0.00284, 0.00284, 0.00318, 0.00318, 0.00300, 0.00300, 0.00415, 0.00270, 0.00540, 0.00300, 0.00338

**Concepto de Trabajo:** Muro y Techo                      **Tarea:** Colocación de acero de refuerzo (Cerramiento, Cadena y Trabe)

**Productividad (P):** m/minuto                      **Recursos:** 1 trabajador

P: 1.33, 1.67, 1.00, 0.67, 1.00, 0.50, 1.00, 0.30, 1.50, 0.60, 0.40, 0.50, 2.00, 0.75, 1.00, 1.50, 0.33, 1.00, 0.33, 1.00, 0.50, 1.00, 1.00, 0.33, 1.00, 0.33, 0.50, 1.00, 0.67, 0.40, 0.75, 1.00, 0.75, 0.50, 2.00, 2.00, 2.00, 0.40, 0.38, 1.50, 0.40, 0.40, 1.00, 0.33, 1.00, 0.40, 0.50, 0.45, 0.40, 0.60, 1.00, 0.67, 0.30, 1.00, 0.33, 0.50, 2.00, 0.80, 0.30, 0.30, 0.40, 0.67, 0.25, 2.00, 0.32, 0.25, 0.40, 0.50, 0.27

**Concepto de Trabajo:** Techo                      **Tarea:** Acarreo de Viguetas

**Productividad (P):** pieza/minuto                      **Recursos:** 2 trabajadores                      **Distancia:** 30 metros

P: 0.22, 0.22, 0.25, 0.33, 0.33, 0.27, 0.26, 0.24, 0.29, 0.24, 0.27, 0.30, 0.33, 0.30, 0.21, 0.22, 0.20, 0.34, 0.40, 0.30, 0.34, 0.48, 0.29, 0.36, 0.33, 0.24, 0.30, 0.34, 0.40, 0.40, 0.36, 0.33

**Concepto de Trabajo:** Techo      **Tarea:** Acarreo de Bovedillas

**Productividad (P):** pieza/minuto      **Recursos:** 1 trabajador

**Distancia Caso 1:** 30 metros

P: 1.78, 0.89, 0.67, 3.33, 5.00, 8.00, 2.22, 1.33, 2.50, 2.22, 3.33, 2.22, 4.44, 3.33, 6.67, 2.67, 3.33, 2.00, 4.00, 1.71, 3.00, 4.00, 1.20, 1.50, 5.00, 4.00, 3.00, 2.40, 1.33, 1.11, 0.67, 1.90, 1.67, 1.48, 1.67, 1.67, 1.67, 1.48, 1.48, 1.33, 1.00, 1.14, 1.17, 1.17, 1.33, 1.56, 1.33, 1.04, 1.78, 1.52, 1.78, 1.33, 2.13, 1.52, 1.33, 1.19, 1.19, 1.19, 1.33, 1.07, 2.40, 2.40, 1.33, 1.71, 1.33, 1.09, 1.50, 1.48, 1.33

**Distancia Caso 2:** 6 metros

P: 8.89, 4.44, 3.33, 6.67, 10.00, 16.00, 4.44, 2.67, 5.00, 4.44, 6.67, 4.44, 8.89, 6.67, 13.33, 5.33, 6.67, 4.00, 8.00, 3.43, 6.00, 8.00, 2.40, 3.00, 10.00, 8.00, 6.00, 4.80, 2.67, 2.22, 1.33, 9.52, 8.33, 7.41, 8.33, 8.33, 8.33, 7.41, 7.41, 6.67, 5.00, 5.71, 5.83, 5.83, 6.67, 7.78, 6.67, 5.19, 8.89, 7.62, 8.89, 6.67, 10.67, 7.62, 6.67, 5.93, 5.93, 5.93, 6.67, 5.33, 12.00, 12.00, 6.67, 8.57, 6.67, 5.45, 7.50, 7.41, 6.67

**Concepto de Trabajo:** Techo      **Tarea:** Izado de Bovedillas

**Productividad (P):** pieza/minuto      **Recursos:** 2 trabajadores

P: 1.33, 1.00, 2.00, 1.14, 0.89, 1.60, 1.43, 1.25, 1.25, 1.11, 1.71, 1.33, 1.50, 1.33, 2.33, 1.40, 1.00, 2.33, 1.65, 1.08, 2.33, 1.27, 2.00, 1.40, 1.17, 1.08, 1.40, 1.75, 1.00, 2.00, 1.14, 1.33, 2.29, 1.78, 1.14, 1.33, 1.14, 1.23, 1.23, 1.14, 1.14, 1.20, 1.64, 2.57, 1.29, 1.29, 2.00, 1.64, 1.38, 2.57, 1.43, 2.22, 1.67, 2.00, 1.67, 1.33, 1.33, 1.43, 2.00, 1.22

**Concepto de Trabajo:** Techo      **Tarea:** Izado de Viguetas

**Productividad (P):** pieza/minuto      **Recursos:** 2 trabajadores

P: 0.125, 0.100, 0.077, 0.143, 0.167, 0.053, 0.167, 0.200, 0.071, 0.091, 0.200, 0.143, 0.333, 0.067, 0.083, 0.083, 0.077, 0.125, 0.083, 0.125, 0.143, 0.167, 0.167, 0.200, 0.125, 0.077, 0.143, 0.111, 0.111, 0.091

**Concepto de Trabajo:** Techo      **Tarea:** Cimbrado de Trabe

**Productividad (P):** m2/minuto      **Recursos:** 1 trabajador

P: 0.0201, 0.0230, 0.0258, 0.0230, 0.0311, 0.0245, 0.0375, 0.0409, 0.0500, 0.0250, 0.0237, 0.0600, 0.0600, 0.0500, 0.0667, 0.0545, 0.0545, 0.0333, 0.0429, 0.0316, 0.0500, 0.0667, 0.0400, 0.0400, 0.0667, 0.0545, 0.0667, 0.0600, 0.0429, 0.0545, 0.0353, 0.0600, 0.0429, 0.0400, 0.0600, 0.0667, 0.0545, 0.0667, 0.0667, 0.0667, 0.0462, 0.0375, 0.0462, 0.0316, 0.0375, 0.0500, 0.0462, 0.0316, 0.0500, 0.0667, 0.0545, 0.0353, 0.0545, 0.0667, 0.0462, 0.0429, 0.0600, 0.0353, 0.0353, 0.0429, 0.0353, 0.0600, 0.0375, 0.0429, 0.0316, 0.0353, 0.0316, 0.0667, 0.0429, 0.0300, 0.6000, 0.0375, 0.0500, 0.0545, 0.0316, 0.0375, 0.0333, 0.0667, 0.0375, 0.0667, 0.0375, 0.0353, 0.0429, 0.0333, 0.0333, 0.0429, 0.0375, 0.0667, 0.0333, 0.0400, 0.0600, 0.0333, 0.0500

**Concepto de Trabajo:** Techo      **Tarea:** Habilitado de acero para Trabe

**Productividad (P):** pieza/minuto      **Recursos:** 1 trabajador

P: 0.69, 0.50, 0.53, 0.50, 0.54, 0.63, 0.53, 0.39, 0.35, 0.63, 0.53, 0.50, 0.50, 0.43, 0.41, 0.69, 0.77, 0.77, 0.69, 0.53, 0.56, 0.69, 0.23, 0.69, 0.77, 0.50, 0.63, 0.58, 0.53, 0.69

**Concepto de Trabajo:** Techo      **Tarea:** Colado de Trabe

**Productividad (P):** m3/minuto      **Recursos:** 1 trabajador

P: 0.0054, 0.0081, 0.0054, 0.0038, 0.0025, 0.0033, 0.0027, 0.0027, 0.0038, 0.0030, 0.0020, 0.0025, 0.0033, 0.0033, 0.0033, 0.0025, 0.0025, 0.0033, 0.0027, 0.0030, 0.0030, 0.0023, 0.0030, 0.0020, 0.0027, 0.0030, 0.0033, 0.0027, 0.0021, 0.0025, 0.0030, 0.0021, 0.0027, 0.0021, 0.0038, 0.0038, 0.0027, 0.0027, 0.0023, 0.0027, 0.0023, 0.0027, 0.0023, 0.0021, 0.0033, 0.0021, 0.0020, 0.0030, 0.0025, 0.0023, 0.0030, 0.0030, 0.0030, 0.0030, 0.0025, 0.0025, 0.0023, 0.0030, 0.0030, 0.0033, 0.0027, 0.0030, 0.0033, 0.0030, 0.0027, 0.0033, 0.0030, 0.0023, 0.0023, 0.0038, 0.0038

**Concepto de Trabajo:** Techo      **Tarea:** Acarreo de Acero de refuerzo

**Productividad (P):** kg/minuto      **Recursos:** 1 trabajador      **Distancia:** 40 metros

P: 5.28, 4.50, 5.52, 5.28, 5.28, 9.34, 5.28, 7.14, 6.75, 9.34, 6.75, 4.50, 4.34, 5.28, 5.28, 4.50, 5.52, 6.75, 8.10, 5.28, 4.50, 7.14, 4.34, 5.28, 6.07, 9.34, 5.52, 4.86, 5.52, 6.07, 4.86, 5.52, 6.75, 6.75, 6.07, 6.07, 8.10, 8.10, 6.07, 5.52, 6.75, 6.94, 6.94, 7.54, 7.89, 3.86, 8.68, 7.89, 4.96, 7.89, 4.57, 3.86, 5.26, 7.54, 7.89, 4.96, 6.43, 6.20, 4.13, 10.21, 5.42, 10.21, 4.34, 4.13, 4.96, 5.42, 5.26, 4.34, 10.21, 7.89, 4.34, 8.68, 4.03, 4.57, 6.20, 6.20, 5.78, 4.96, 4.03, 7.89, 5.26, 5.78, 5.98, 6.94, 3.86, 9.13, 6.94, 5.26, 5.78, 5.42, 4.96, 6.20, 7.23, 6.67, 5.60, 5.26, 3.86, 6.20, 6.43, 5.98, 5.18, 5.60, 3.65, 4.45, 4.23, 6.94, 4.82, 5.98, 4.34, 6.55

**Concepto de Trabajo:** Techo      **Tarea:** Habilitado de acero perimetral

**Productividad (P):** corde/minuto      **Recursos:** 1 trabajador

P: 4.35, 3.70, 4.55, 4.35, 4.35, 7.69, 4.35, 5.88, 5.56, 7.69, 5.56, 3.70, 3.57, 4.35, 4.35, 3.70, 4.55, 5.56, 6.67, 4.35, 3.70, 5.88, 3.57, 4.35, 5.00, 7.69, 4.55, 4.00, 4.55, 5.00, 4.00, 4.55, 5.56, 5.56, 5.00, 5.00, 6.67, 6.67, 5.00, 4.55, 5.56, 4.00, 4.00, 4.35, 4.55, 2.22, 5.00, 4.55, 2.86, 4.55, 2.63, 2.22, 3.03, 4.35, 4.55, 2.86, 3.70, 3.57, 2.38, 5.88, 3.13, 5.88, 2.50, 2.38, 2.86, 3.13, 3.03, 2.50, 5.88, 4.55, 2.50, 5.00, 2.33, 2.63, 3.57, 3.57, 3.33, 2.86, 2.33, 4.55, 3.03, 3.33, 3.45, 4.00, 2.22, 5.26, 4.00, 3.03, 3.33, 3.13, 2.86, 3.57, 4.17, 3.85, 3.23, 3.03, 2.22, 3.57, 3.70, 1.72, 1.49, 1.61, 1.05, 1.28, 1.22, 2.00, 1.39, 1.72, 1.25, 1.89

**Concepto de Trabajo:** Techo      **Tarea:** Cimbrado Perimetral de Losa

**Productividad (P):** m2/minuto      **Recursos:** 1 trabajador

P: 3.45, 3.07, 2.30, 3.68, 2.47, 2.81, 3.45, 2.63, 2.55, 3.13, 3.45, 3.68, 3.01, 3.07, 2.76, 2.33, 2.37, 2.51, 2.33, 2.72, 3.32, 3.32, 3.01, 3.05, 3.47, 4.10, 2.54, 3.83, 3.58, 3.09, 2.43, 3.96

**Concepto de Trabajo:** Techo      **Tarea:** Apuntalamiento de Losa

**Productividad (P):** m2/minuto      **Recursos:** 1 trabajador

P: 1.86, 1.65, 1.24, 1.98, 1.33, 1.51, 1.86, 1.42, 1.37, 1.68, 1.86, 1.98, 1.62, 1.65, 1.49, 1.26, 1.27, 1.35, 1.26, 1.46, 1.79, 1.79, 1.62, 1.64, 1.87, 2.21, 1.37, 2.06, 1.93, 1.66, 1.31, 2.13

**Concepto de Trabajo:** Techo                      **Tarea:** Colocación de acero en Losa

**Productividad (P):** pieza/minuto                      **Recursos:** 1 trabajador

**P:** 5.3, 6.7, 4.0, 2.7, 4.0, 2.0, 4.0, 2.0, 6.0, 2.4, 1.6, 2.0, 8.0, 3.0, 4.0, 6.0, 2.0, 4.0, 1.3, 4.0, 2.0, 4.0, 4.0, 1.3, 4.0, 1.3, 2.0, 4.0, 2.7, 1.6, 3.0, 4.0, 3.0, 2.0, 8.0, 8.0, 8.0, 1.6, 1.5, 6.0, 1.6, 1.6, 4.0, 1.3, 4.0, 1.6, 2.0, 1.8, 1.6, 2.4, 4.0, 2.7, 1.2, 4.0, 1.3, 2.0, 8.0, 3.2, 1.2, 1.2, 1.6, 2.7, 1.0, 8.0, 1.3, 1.0, 1.6, 1.9, 1.1

**Concepto de Trabajo:** Techo                      **Tarea:** Colocación de malla electro soldada

**Productividad (P):** pieza/minuto                      **Recursos:** 1 trabajador

**P:** 10.4, 15.3, 9.4, 14.5, 17.1, 13.2, 11.6, 14.5, 11.2, 10.4, 12.6, 8.3, 10.7, 10.4, 10.4, 9.1, 9.4, 8.8, 8.8, 10.7, 7.9, 11.3, 11.3, 8.3, 8.8, 63.2, 10.9, 7.9, 10.2, 9.9, 10.9, 9.3

**Concepto de Trabajo:** Techo                      **Tarea:** Colado de Losa con concreto premezclado

**Productividad (P):** pieza/minuto                      **Recursos:** 1 trabajador

**P:** 2.59, 3.82, 2.34, 3.63, 4.26, 3.30, 2.90, 3.63, 2.79, 2.59, 3.15, 2.07, 2.69, 2.59, 2.59, 2.27, 2.34, 2.20, 2.20, 2.69, 3.53, 5.20, 3.19, 2.63, 3.76, 3.76, 2.77, 2.93, 3.63, 2.63, 3.40, 3.29, 3.63, 3.10



**Concepto de Trabajo:** Muro**Tarea:** Preparación de mortero**Volumen de obra:** 5 Cubetas**Duración (D):** Minutos**Recursos:** 1 Trabajador

D: 10.1, 18.7, 20.2, 17.3, 12.5, 15.0, 12.5, 11.3, 17.5, 16.3, 13.8, 16.3, 8.9, 7.8, 11.2, 13.4, 15.6, 11.2, 14.5, 14.5, 15.6, 13.4, 17.0, 16.5, 15.5, 13.5, 19.0, 13.0, 21.0, 15.0, 11.1, 22.2, 19.0, 20.6, 12.2, 6.8, 6.8, 14.9, 16.3, 13.6, 12.2, 8.1, 19.0, 17.6, 5.4, 14.9, 17.6, 5.4, 8.1, 12.2, 8.1, 19.0, 6.8, 19.0, 6.8, 16.3, 10.9, 16.3, 16.3, 17.6, 19.0, 6.8, 12.2, 10.9, 8.1, 17.6, 12.2, 17.6, 9.5, 12.2, 16.3, 17.6, 17.6, 17.6, 10.9, 9.5, 14.9, 17.6, 12.2, 12.2, 17.6, 16.3, 17.6, 6.8, 12.2, 12.2, 5.4, 9.5, 5.4, 9.5, 12.2, 6.8, 19.0, 9.5, 9.5, 8.1, 12.2, 4.1, 13.6, 5.4, 9.5, 5.4, 9.5, 8.1, 10.9, 8.1, 10.9, 8.1, 5.4, 10.9, 9.5, 9.5, 7.1, 8.3, 11.9, 14.3, 11.9, 16.6, 11.9, 15.4, 15.4, 16.6, 14.3, 5.9, 7.1, 15.4, 8.3, 5.9, 10.7, 9.5, 17.9, 17.4, 16.4, 13.7, 20.1, 13.7, 22.7, 14.8, 15.8, 14.8, 16.4, 16.2, 31.7, 13.7, 23.2, 21.1, 21.1, 8.4, 23.2, 15.8, 21.1, 19.0, 19.0, 17.9, 21.1, 23.2, 22.2, 15.8, 20.1, 13.7, 16.9, 17.9

**Concepto de Trabajo:** Muro y Techo**Tarea:** Acarreo de mezcla (Mortero y Concreto)**Volumen de obra:** 1 Cubeta**Duración (D):** Minutos**Recursos:** 1 Trabajador

D: 0.14, 0.29, 0.14, 0.29, 0.14, 0.14, 0.14, 0.29, 0.29, 0.29, 0.29, 0.14, 0.17, 0.33, 0.33, 0.17, 0.33, 0.17, 0.33, 0.17, 0.17, 0.17, 0.33, 0.33, 0.17, 0.33, 0.33, 0.33, 0.33, 0.33, 0.51, 0.55, 0.44, 0.55, 0.34, 0.57, 0.43, 0.41, 0.44, 0.45, 0.41, 0.44, 0.46, 0.49, 0.43, 0.41, 0.32, 0.34, 0.36, 0.37, 0.29, 0.39, 0.39, 0.29, 0.42, 0.41, 0.39, 0.29, 0.39, 0.31, 0.41, 0.30, 0.49, 0.38, 0.32, 0.41, 0.43, 0.39, 0.33, 0.34, 0.32, 0.35, 0.49, 0.46, 0.44, 0.42, 0.46, 0.47, 0.49, 0.53, 0.46, 0.55, 0.55, 0.57, 0.45, 0.48, 0.50, 0.58, 0.39, 0.54, 0.45, 0.54, 0.56, 0.48, 0.51, 0.54, 0.59, 0.46, 0.49, 0.64, 0.42, 0.38, 0.50, 0.29, 0.32, 0.63, 0.30, 0.40, 0.75, 0.69, 0.40, 0.33, 0.29, 0.57, 0.54, 0.36, 0.50, 0.46, 0.31, 0.50, 0.46, 0.48, 0.52, 0.42, 0.45, 0.38, 0.30, 0.32, 0.34, 0.29, 0.50, 0.34, 0.45, 0.59, 0.29, 0.42, 0.41, 0.48, 0.37, 0.40, 0.50, 0.37, 0.46, 0.48, 0.49, 0.41, 0.38, 0.41, 0.37, 0.46, 0.46, 0.41, 0.41, 0.38, 0.38, 0.42, 0.46, 0.49, 0.48, 0.44, 0.41, 0.37, 0.50, 0.52, 0.51, 0.55, 0.44, 0.55, 0.34, 0.57, 0.43, 0.41, 0.44, 0.45, 0.41, 0.44, 0.46, 0.49, 0.43, 0.41, 0.32, 0.34, 0.36, 0.37, 0.41, 0.55, 0.55, 0.41, 0.59, 0.59, 0.55, 0.41, 0.56, 0.44, 0.59, 0.43, 0.69, 0.54, 0.45, 0.41, 0.43, 0.39, 0.33, 0.34, 0.32, 0.35, 0.49, 0.46, 0.44, 0.50, 0.55, 0.57, 0.59, 0.64, 0.52, 0.66, 0.67, 0.69, 0.54, 0.58, 0.60, 0.70, 0.47, 0.65, 0.54, 0.65, 0.68, 0.38, 0.41, 0.10, 0.67, 0.52, 0.56, 0.72, 0.22, 0.50, 0.67, 0.38, 0.43, 0.83, 0.40, 0.54, 0.67, 0.92, 0.53, 0.43, 0.38, 0.76, 0.72, 0.48, 0.67, 0.62, 0.42, 0.67, 0.62, 0.64, 0.69, 0.56, 0.60, 0.51, 0.30, 0.32, 0.34, 0.29, 0.50, 0.34, 0.30, 0.59, 0.29, 0.42, 0.41, 0.48, 0.37, 0.40, 0.50, 0.37, 0.46, 0.48, 0.49, 0.41, 0.38, 0.41, 0.37, 0.46, 0.46, 0.41, 0.16, 0.38, 0.38, 0.42, 0.46, 0.49, 0.48, 0.44, 0.41, 0.37, 0.48, 0.52

**Concepto de Trabajo:** Muro y Techo**Tarea:** Armado de andamio**Volumen de obra:** 1 pieza**Duración (D):** Minutos**Recursos:** 1 Trabajador

D: 4.1, 3.5, 2.9, 3.4, 4.4, 2.6, 3.7, 3.9, 6.8, 4.3, 9.1, 5.3, 6.2, 8.1, 6.2, 2.1, 7.2, 6.6, 8.9, 5.9, 8.0, 7.9, 8.2, 8.3, 5.8, 5.4, 6.1, 4.5, 8.5, 6.2, 8.1, 3.9, 3.2, 5.7, 4.1, 5.1, 7.6, 8.6, 8.8, 5.1, 6.0, 6.7, 5.0, 4.7, 4.3, 8.4, 5.8, 8.5, 8.7, 3.6, 6.2, 8.4, 5.4, 6.0, 7.9, 8.2, 6.2, 8.5, 3.8, 7.3, 6.3, 4.5, 5.6, 6.1, 5.4, 8.7, 5.6, 5.8, 5.9, 6.4, 4.9, 5.5, 8.2, 7.0, 8.9, 4.3, 7.9, 5.4, 7.3, 7.9, 5.3, 6.6, 5.9, 5.2, 5.1, 3.9, 8.0, 5.0, 7.5, 3.5, 4.9, 3.5, 8.0, 3.7, 8.3, 8.1, 3.8, 3.8, 4.4, 4.0, 4.4, 7.5, 6.1, 3.5, 3.4, 7.1, 6.0, 8.0, 5.6, 5.2, 8.9, 3.4, 6.6, 3.6, 4.7, 7.2, 8.1, 6.2, 4.5, 8.1, 6.2, 5.3, 9.0, 4.3, 4.7, 6.8, 3.9, 3.6, 3.7, 3.7, 2.1, 2.6, 4.3, 2.6, 2.8, 3.4, 2.0, 3.7, 2.3, 3.2, 3.7, 2.3, 3.6, 3.8, 4.4, 2.5, 3.5, 3.4, 4.2, 2.1, 2.9, 2.2, 3.5, 4.1, 2.3, 4.1

**Concepto de Trabajo:** Muro y Techo**Tarea:** Acarreo de material para preparación de mezcla (Mortero y Concreto)**Volumen de obra:** 1 Cubeta**Duración (D):** Minutos**Recursos:** 1 Trabajador

D: 0.53, 1.33, 1.00, 1.48, 1.60, 1.60, 1.60, 1.20, 0.82, 0.88, 0.71, 0.88, 0.55, 0.91, 0.69, 0.66, 0.71, 0.72, 0.66, 0.71, 0.74, 0.78, 0.69, 0.65, 0.51, 0.55, 0.57, 0.59, 0.46, 0.62, 0.62, 0.46, 0.66, 0.66, 0.62, 0.46, 0.62, 0.50, 0.66, 0.48, 0.78, 0.60, 0.50, 0.66, 0.68, 0.62, 0.52, 0.54, 0.50, 0.56, 0.78, 0.74, 0.70, 0.67, 0.73, 0.75, 0.79, 0.85, 0.73, 0.87, 0.89, 0.91, 0.72, 0.77, 0.80, 0.93, 0.62, 0.87, 0.71, 0.87, 0.90, 0.77, 0.81, 0.87, 0.94, 0.74, 0.79, 1.02, 0.67, 0.60, 0.80, 0.46, 0.51, 1.00, 0.48, 0.64, 1.20, 1.10, 0.64, 0.52, 0.46, 0.91, 0.86, 0.58, 0.80, 0.74, 0.50, 0.80, 0.74, 0.77, 0.83, 0.67, 0.72, 0.61, 0.48, 0.51, 0.54, 0.47, 0.80, 0.54, 0.72, 0.94, 0.46, 0.67, 0.65, 0.76, 0.59, 0.63, 0.80, 0.59, 0.73, 0.77, 0.78, 0.65, 0.60, 0.66, 0.59, 0.74, 0.73, 0.65, 0.65, 0.61, 0.60, 0.67, 0.73, 0.78, 0.77, 0.71, 0.65, 0.59, 0.79, 0.83, 0.82, 0.88, 0.71, 0.88, 0.55, 0.91, 0.69, 0.66, 0.71, 0.72, 0.66, 0.71, 0.74, 0.78, 0.69, 0.65, 0.51, 0.55, 0.57, 0.59, 0.65, 0.88, 0.88, 0.65, 0.95, 0.94, 0.88, 0.65, 0.89, 0.71, 0.94, 0.69, 1.11, 0.86, 0.72, 0.66, 0.68, 0.62, 0.52, 0.54, 0.50, 0.56, 0.78, 0.74, 0.70, 0.80, 0.88, 0.90, 0.94, 1.02, 0.82, 1.06, 1.06, 1.10, 0.86, 0.92, 0.96, 1.12, 0.74, 1.04, 0.86, 1.04, 1.08, 0.61, 0.65, 0.16, 1.07, 0.84, 0.89, 1.16, 0.36, 0.80, 1.07, 0.61, 0.68, 1.33, 0.63, 0.86,

1.60, 1.47, 0.85, 0.69, 0.61, 1.22, 1.15, 0.77, 1.07, 0.99, 0.67, 1.07, 0.99, 1.03, 1.11, 0.89, 0.96, 0.82, 0.48, 0.51, 0.54, 0.47, 0.80, 0.54, 0.47, 0.94, 0.46, 0.67, 0.65, 0.76, 0.59, 0.63, 0.80, 0.59, 0.73, 0.77, 0.78, 0.65, 0.60, 0.66, 0.59, 0.74, 0.73, 0.65, 0.25, 0.61, 0.60, 0.67, 0.73, 0.78, 0.77, 0.71, 0.65, 0.59, 0.76, 0.83

**Concepto de Trabajo:** Muro y Techo      **Tarea:** Acarreo de cimbra (Castillos, Cerramientos y Cadenas)

**Volumen de obra:** 2 tablas      **Duración (D):** Minutos      **Recursos:** 1 Trabajador

D: 0.49, 0.58, 0.47, 0.49, 0.49, 0.28, 0.49, 0.36, 0.39, 0.28, 0.39, 0.58, 0.60, 0.49, 0.49, 0.58, 0.47, 0.39, 0.32, 0.49, 0.58, 0.36, 0.60, 0.49, 0.43, 0.28, 0.47, 0.54, 0.47, 0.43, 0.54, 0.47, 0.39, 0.39, 0.43, 0.43, 0.32, 0.32, 0.43, 0.47, 0.39, 0.38, 0.38, 0.35, 0.33, 0.68, 0.30, 0.33, 0.53, 0.33, 0.57, 0.68, 0.50, 0.35, 0.33, 0.53, 0.41, 0.42, 0.63, 0.26, 0.48, 0.26, 0.60, 0.63, 0.53, 0.48, 0.50, 0.60, 0.26, 0.33, 0.60, 0.30, 0.65, 0.57, 0.42, 0.42, 0.45, 0.53, 0.65, 0.33, 0.50, 0.45, 0.44, 0.38, 0.68, 0.29, 0.38, 0.50, 0.45, 0.48, 0.53, 0.42, 0.36, 0.39, 0.47, 0.50, 0.68, 0.42, 0.41, 0.44, 0.50, 0.47, 0.71, 0.59, 0.62, 0.38, 0.54, 0.44, 0.60, 0.40

**Concepto de Trabajo:** Muro y Techo      **Tarea:** Preparación de Concreto

**Volumen de obra:** 2 piezas      **Duración (D):** Minutos      **Recursos:** 1 Trabajador

D: 6.0, 7.5, 4.0, 7.0, 10.6, 15.8, 17.9, 12.7, 10.6, 14.8, 17.9, 11.6, 13.7, 13.7, 17.9, 15.8, 16.9, 13.7, 10.6, 16.9, 17.9, 13.7, 12.7, 13.7, 17.9, 10.6, 12.7, 13.7, 15.8, 12.7, 17.9, 15.8, 10.6, 11.6, 15.8, 17.9, 12.7, 15.8, 11.6, 12.7, 15.8, 16.9, 16.9, 10.6, 14.8, 17.9, 15.8, 10.6, 14.8, 13.7, 9.5, 11.6, 13.7, 11.6, 11.6, 17.9, 16.9, 9.5, 17.9, 16.9, 17.9, 17.9, 10.6, 17.9, 10.6, 17.9, 10.6, 12.7, 11.6, 9.5, 13.7, 10.6, 14.8, 16.9, 12.7, 17.9, 9.5, 10.6, 13.7, 12.7, 12.7, 11.6, 15.8, 12.7, 9.5, 10.6, 9.5, 11.6, 10.6, 10.6, 13.7, 15.8, 12.7, 11.6, 17.9, 15.8, 14.8, 10.6, 13.7, 12.7, 9.5, 19.0, 10.6, 12.7, 13.7, 10.6, 16.9, 15.8, 13.7, 17.9, 13.7, 12.7, 13.7, 14.8, 17.9, 12.7, 10.6, 15.8, 13.7, 15.8, 15.8, 17.9, 19.0, 11.6, 10.6, 9.5, 13.7, 19.0, 17.9, 19.0, 13.7, 12.7, 15.8, 20.1, 13.7, 17.9, 16.9

**Concepto de Trabajo:** Muro      **Tarea:** Cimbrado de Castillo

**Volumen de obra:** 0.795 m2 (1 castillo)      **Duración (D):** Minutos      **Recursos:** 1 Trabajador

D: 20.4, 19.4, 22.4, 16.8, 10.8, 9.4, 13.8, 13.6, 18.2, 13.0, 17.0, 17.9, 18.0, 18.4, 14.2, 16.7, 18.1, 18.4, 11.0, 13.7, 9.2, 14.4, 15.9, 15.0, 18.0, 16.5, 14.5, 11.2, 13.7, 11.7, 12.5, 18.8, 14.7, 11.0, 17.9, 17.4, 10.7, 12.4, 11.6, 12.9, 19.4, 11.5, 13.0, 17.6, 18.8, 16.1, 20.2, 9.9, 18.6, 11.9, 20.2, 14.1, 14.0, 17.0, 17.1, 12.9, 13.9, 13.0, 13.5, 15.5, 16.6, 19.8, 15.7, 15.5, 15.6, 10.6, 13.6, 14.9, 18.8, 13.0, 14.9, 13.5, 14.6, 13.7, 16.3, 14.7, 18.2, 18.1, 18.8, 17.1, 15.1, 17.3, 15.2, 16.7, 11.7, 10.6, 11.3, 16.7, 9.9, 16.1, 14.7, 14.1, 14.0, 10.8, 18.0, 16.2, 13.1, 19.9, 19.2, 16.0, 18.8, 16.2, 19.0, 12.5, 15.5, 16.6, 18.8

**Concepto de Trabajo:** Muro      **Tarea:** Colado de Castillo

**Volumen de obra:** 0.0596 m3 (1 castillo)      **Duración (D):** Minutos      **Recursos:** 1 Trabajador

D: 13.8, 8.5, 13.8, 19.9, 9.9, 13.2, 19.9, 8.8, 16.6, 19.9, 16.6, 16.6, 13.2, 21.0, 12.1, 14.3, 16.6, 13.2, 17.7, 9.9, 12.1, 15.5, 12.1, 12.1, 14.3, 22.1, 22.1, 21.0, 8.8, 8.8, 11.0, 11.0, 12.1, 21.0, 18.8, 18.8, 13.2, 9.9, 9.9, 22.1, 15.5, 11.0, 12.1, 11.0, 12.1, 19.9, 19.9, 14.3, 16.6, 13.2, 12.1, 15.5, 21.0, 11.0, 8.8, 16.6, 14.3, 11.0, 15.5, 18.8, 17.7, 18.8, 19.9, 9.9, 22.1, 11.0, 19.9, 17.7, 9.9, 18.8, 22.1, 17.7, 14.3, 9.9, 22.1, 21.0, 21.0, 15.5, 15.5, 17.7, 13.2, 13.2, 19.9, 18.8, 18.8, 16.6, 14.3, 15.5, 22.1, 21.0, 14.3, 15.5, 13.2, 22.1, 22.1, 14.3, 13.2, 8.8, 8.8, 9.9, 21.0, 8.8, 14.3, 11.0, 12.1, 16.6

**Concepto de Trabajo:** Muro      **Tarea:** Cimbrado de Cadena de nivelación

**Volumen de obra:** 0.732 m2      **Duración (D):** Minutos      **Recursos:** 1 Trabajador

D: 36.1, 28.3, 33.2, 33.2, 39.0, 22.4, 29.3, 22.6, 30.2, 15.5, 17.8, 15.7, 16.5, 16.6, 17.0, 18.7, 17.9, 18.2, 18.8, 18.6, 18.5, 17.3, 16.6, 17.7, 17.3, 15.3, 29.3, 28.3, 27.3, 25.4, 29.3, 22.4, 29.3, 19.3, 24.1

**Concepto de Trabajo:** Muro**Tarea:** Cimbrado de Cerramiento**Volumen de obra:** 0.66 m2**Duración (D):** Minutos**Recursos:** 1 Trabajador

D: 32.8, 28.7, 25.6, 33.8, 28.7, 38.9, 43.0, 21.2, 26.9, 17.6, 16.1, 13.2, 26.4, 27.9, 11.0, 11.0, 13.2, 9.9, 12.1, 12.1, 19.8, 15.4, 20.9, 13.2, 9.9, 16.5, 16.5, 9.9, 12.1, 9.9, 11.0, 15.4, 12.1, 18.7, 11.0, 15.4, 16.5, 11.0, 9.9, 12.1, 9.9, 9.9, 14.3, 17.6, 14.3, 20.9, 17.6, 13.2, 14.3, 20.9, 13.2, 9.9, 12.1, 18.7, 12.1, 9.9, 14.3, 15.4, 11.0, 18.7, 18.7, 15.4, 18.7, 11.0, 17.6, 15.4, 20.9, 18.7, 20.9, 9.9, 15.4, 22.0, 1.1, 17.6, 13.2, 12.1, 20.9, 17.6, 19.8, 9.9, 17.6, 9.9, 17.6, 18.7, 15.4, 19.8, 19.8, 15.4, 17.6, 9.9, 19.8, 16.5, 11.0, 19.8, 13.2

**Concepto de Trabajo:** Muro**Tarea:** Descimbrado de elementos (Castillos, Cerramientos y Cadenas)**Duración (D):** Minutos**Recursos:** 1 Trabajador**Volumen de obra – Caso 1:** 44.04 m2

D: 489, 306, 551, 428, 367, 673, 551, 428, 551, 306, 673, 367, 551, 306, 673, 306, 612, 306, 673, 306, 587, 440, 734, 440, 661, 440, 514, 734, 367, 367

**Volumen de obra – Caso 1:** 33.69 m2

D: 374, 234, 421, 328, 281, 515, 421, 328, 421, 234, 515, 281, 421, 234, 515, 234, 468, 234, 515, 234, 449, 337, 562, 337, 505, 337, 393, 562, 281, 281

**Concepto de Trabajo:** Muro**Tarea:** Colado de Cerramiento**Volumen de obra:** 2 piezas**Duración (D):** Minutos**Recursos:** 1 Trabajador

D: 6.7, 4.5, 9.7, 24.0, 14.4, 10.8, 13.2, 13.2, 9.6, 22.8, 19.2, 12.0, 24.0, 24.0, 20.4, 18.0, 24.0, 14.4, 10.8, 10.8, 10.8, 24.0, 18.0, 22.8, 14.4, 10.8, 20.4, 21.6, 13.2, 12.0, 12.0, 15.6, 22.8, 12.0, 18.0, 13.2, 12.0, 10.8, 13.2, 16.8, 22.8, 14.4, 12.0, 16.8, 13.2, 16.8, 22.8, 18.0, 18.0, 13.2, 18.0, 9.6, 19.2, 9.6, 19.2, 21.6, 21.6, 13.2, 13.2, 20.4, 15.6, 13.2, 15.6, 13.2, 15.6, 21.6, 21.6, 16.8, 10.8, 16.8, 18.0, 12.0, 14.4, 20.4, 15.6, 19.2, 19.2, 24.0, 12.0, 12.0, 12.0, 19.2, 14.4, 14.4, 15.6, 12.0, 24.0, 15.6, 10.8, 13.2, 12.0, 10.8, 18.0, 20.4, 20.4, 21.6, 12.0, 13.2, 10.8, 12.0, 15.6, 15.6, 9.6, 20.4, 9.6, 18.0

**Concepto de Trabajo:** Muro**Tarea:** Colado de Cadena de nivelación**Volumen de obra:** 0.0549 m3**Duración (D):** Minutos**Recursos:** 1 Trabajador

D: 19.0, 14.6, 19.0, 10.2, 6.8, 14.7, 36.6, 36.6, 36.6, 31.1, 27.5, 36.6, 34.8, 27.5, 27.5, 29.3, 32.9, 32.9, 31.1, 14.6, 27.5, 20.1, 25.6, 34.8, 15.3, 18.3, 15.3, 20.3, 20.3, 19.3, 19.3, 17.3, 17.3, 18.3, 18.3, 13.2, 20.3, 10.2, 18.3, 16.3

**Concepto de Trabajo:** Muro y Techo**Tarea:** Colocación de acero de refuerzo en Cadena de nivelación**Volumen de obra:** 2.44 ml**Duración (D):** Minutos**Recursos:** 1 Trabajador

D: 1.8, 1.5, 2.4, 3.7, 2.4, 4.9, 2.4, 8.1, 1.6, 4.1, 6.1, 4.9, 1.2, 3.3, 2.4, 1.6, 7.3, 2.4, 7.3, 2.4, 4.9, 2.4, 2.4, 7.3, 2.4, 7.3, 4.9, 2.4, 3.7, 6.1, 3.3, 2.4, 3.3, 4.9, 1.2, 1.2, 1.2, 6.1, 6.5, 1.6, 6.1, 6.1, 2.4, 7.3, 2.4, 6.1, 4.9, 5.4, 6.1, 4.1, 2.4, 3.7, 8.1, 2.4, 7.3, 4.9, 1.2, 3.1, 8.1, 8.1, 6.1, 3.7, 9.8, 1.2, 7.6, 9.8, 6.1, 4.9, 9.2

**Concepto de Trabajo:** Muro y Techo                      **Tarea:** Colocación de acero de refuerzo en Cerramiento

**Volumen de obra:** 1.10 ml                      **Duración (D):** Minutos                      **Recursos:** 1 Trabajador

D: 0.8, 0.7, 1.1, 1.7, 1.1, 2.2, 1.1, 3.7, 0.7, 1.8, 2.8, 2.2, 0.6, 1.5, 1.1, 0.7, 3.3, 1.1, 3.3, 1.1, 2.2, 1.1, 1.1, 3.3, 1.1, 3.3, 2.2, 1.1, 1.7, 2.8, 1.5, 1.1, 1.5, 2.2, 0.6, 0.6, 0.6, 2.8, 2.9, 0.7, 2.8, 2.8, 1.1, 3.3, 1.1, 2.8, 2.2, 2.4, 2.8, 1.8, 1.1, 1.7, 3.7, 1.1, 3.3, 2.2, 0.6, 1.4, 3.7, 3.7, 2.8, 1.7, 4.4, 0.6, 3.4, 4.4, 2.8, 2.2, 4.1

**Concepto de Trabajo:** Techo    **Tarea:** Acarreo de Viguetas

**Método de acarreo:** A mano                      **Duración (D):** Minutos                      **Recursos:** 2 Trabajadores

**Volumen de obra:** 1 pieza

D: 4.5, 4.5, 4.0, 3.0, 3.0, 3.8, 3.9, 4.2, 3.5, 4.1, 3.8, 3.4, 3.0, 3.4, 4.9, 4.5, 5.0, 2.9, 2.5, 3.3, 2.9, 2.1, 3.5, 2.8, 3.0, 4.2, 3.3, 2.9, 2.5, 2.5, 2.8, 3.0

**Concepto de Trabajo:** Techo    **Tarea:** Acarreo de Bovedillas

**Método de acarreo:** A mano                      **Duración (D):** Minutos                      **Recursos:** 1 Trabajador

**Volumen de obra:** 2 piezas                      **Distancia – Caso 1:** 30 metros

D: 1.1, 2.3, 3.0, 0.6, 0.4, 0.3, 0.9, 1.5, 0.8, 0.9, 0.6, 0.9, 0.5, 0.6, 0.3, 0.8, 0.6, 1.0, 0.5, 1.2, 0.7, 0.5, 1.7, 1.3, 0.4, 0.5, 0.7, 0.8, 1.5, 1.8, 3.0, 1.1, 1.2, 1.4, 1.2, 1.2, 1.2, 1.4, 1.4, 1.5, 2.0, 1.8, 1.7, 1.7, 1.5, 1.3, 1.5, 1.9, 1.1, 1.3, 1.1, 1.5, 0.9, 1.3, 1.5, 1.7, 1.7, 1.7, 1.5, 1.9, 0.8, 0.8, 1.5, 1.2, 1.5, 1.8, 1.3, 1.4, 1.5

**Volumen de obra:** 2 piezas                      **Distancia – Caso 2:** 6 metros

D: 0.23, 0.45, 0.60, 0.30, 0.20, 0.13, 0.45, 0.75, 0.40, 0.45, 0.30, 0.45, 0.23, 0.30, 0.15, 0.38, 0.30, 0.50, 0.25, 0.58, 0.33, 0.25, 0.83, 0.67, 0.20, 0.25, 0.33, 0.42, 0.75, 0.90, 1.50, 0.21, 0.24, 0.27, 0.24, 0.24, 0.24, 0.27, 0.27, 0.30, 0.40, 0.35, 0.34, 0.34, 0.30, 0.26, 0.30, 0.39, 0.23, 0.26, 0.23, 0.30, 0.19, 0.26, 0.30, 0.34, 0.34, 0.34, 0.30, 0.38, 0.17, 0.17, 0.30, 0.23, 0.30, 0.37, 0.27, 0.27, 0.30

**Concepto de Trabajo:** Techo    **Tarea:** Izado de Bovedillas

**Volumen de obra:** 1 pieza                      **Duración (D):** Minutos                      **Recursos:** 1 Trabajador

D: 0.75, 1.00, 0.50, 0.88, 1.13, 0.63, 0.70, 0.80, 0.80, 0.90, 0.58, 0.75, 0.67, 0.75, 0.43, 0.71, 1.00, 0.43, 0.61, 0.93, 0.43, 0.79, 0.50, 0.71, 0.86, 0.93, 0.71, 0.57, 1.00, 0.50, 0.88, 0.75, 0.44, 0.56, 0.88, 0.75, 0.88, 0.81, 0.81, 0.88, 0.88, 0.83, 0.61, 0.39, 0.78, 0.78, 0.50, 0.61, 0.72, 0.39, 0.70, 0.45, 0.60, 0.50, 0.60, 0.75, 0.75, 0.70, 0.50, 0.82

**Concepto de Trabajo:** Techo    **Tarea:** Izado de Viguetas

**Volumen de obra:** 1 pieza                      **Duración (D):** Minutos                      **Recursos:** 1 Trabajador

D: 8.0, 10.0, 13.0, 7.0, 6.0, 19.0, 6.0, 5.0, 14.0, 11.0, 5.0, 7.0, 3.0, 15.0, 12.0, 12.0, 13.0, 8.0, 12.0, 8.0, 7.0, 6.0, 6.0, 5.0, 8.0, 13.0, 7.0, 9.0, 9.0, 11.0

**Concepto de Trabajo:** Techo**Tarea:** Cimbrado de Trabe**Duración (D):** Minutos**Recursos:** 1 Trabajador**Volumen de obra Caso 1:** 4.39 m<sup>2</sup>

D: 218, 191, 170, 191, 141, 179, 117, 107, 88, 176, 185, 73, 73, 88, 66, 81, 81, 132, 102, 139, 88, 66, 110, 110, 66, 81, 66, 73, 102, 81, 124, 73, 102, 110, 73, 66, 81, 66, 66, 66, 95, 117, 95, 139, 117, 88, 95, 139, 88, 66, 81, 124, 81, 66, 95, 102, 73, 124, 124, 102, 124, 73, 117, 102, 139, 124, 139, 66, 102, 146, 7, 117, 88, 81, 139, 117, 132, 66, 117, 66, 117, 124, 102, 132, 132, 102, 117, 66, 132, 110, 73, 132, 88

**Volumen de obra Caso 2:** 0.98 m<sup>2</sup>

D: 48.5, 42.4, 37.9, 42.4, 31.4, 39.8, 26.0, 23.9, 19.5, 39.0, 41.2, 16.3, 16.3, 19.5, 14.6, 17.9, 17.9, 29.3, 22.8, 30.9, 19.5, 14.6, 24.4, 24.4, 14.6, 17.9, 14.6, 16.3, 22.8, 17.9, 27.7, 16.3, 22.8, 24.4, 16.3, 14.6, 17.9, 14.6, 14.6, 14.6, 21.1, 26.0, 21.1, 30.9, 26.0, 19.5, 21.1, 30.9, 19.5, 14.6, 17.9, 27.7, 17.9, 14.6, 21.1, 22.8, 16.3, 27.7, 27.7, 22.8, 27.7, 16.3, 26.0, 22.8, 30.9, 27.7, 30.9, 14.6, 22.8, 32.5, 1.6, 26.0, 19.5, 17.9, 30.9, 26.0, 29.3, 14.6, 26.0, 14.6, 26.0, 27.7, 22.8, 29.3, 29.3, 22.8, 26.0, 14.6, 29.3, 24.4, 16.3, 29.3, 19.5

**Concepto de Trabajo:** Techo**Tarea:** Habilitado de acero para Trabe**Duración (D):** Minutos**Recursos:** 1 Trabajador**Volumen de obra Caso 1:** 16 kg

D: 23.1, 32.3, 30.0, 32.3, 29.5, 25.4, 30.0, 41.5, 46.1, 25.4, 30.0, 32.3, 32.3, 36.9, 39.2, 23.1, 20.7, 20.7, 23.1, 30.0, 28.8, 23.1, 69.2, 23.1, 20.7, 32.3, 25.4, 27.7, 30.0, 23.1

**Volumen de obra Caso 2:** 16.3 kg

D: 23.5, 32.9, 30.5, 32.9, 30.1, 25.8, 30.5, 42.3, 47.0, 25.8, 30.5, 32.9, 32.9, 37.6, 39.9, 23.5, 21.1, 21.1, 23.5, 30.5, 29.4, 23.5, 70.5, 23.5, 21.1, 32.9, 25.8, 28.2, 30.5, 23.5

**Concepto de Trabajo:** Techo**Tarea:** Colocación de acero en Trabe**Duración (D):** Minutos**Recursos:** 1 Trabajador**Volumen de obra Caso 1:** 5.5 ml

D: 4.1, 3.3, 5.5, 8.3, 5.5, 11.0, 5.5, 11.0, 3.7, 9.2, 13.8, 11.0, 2.8, 7.3, 5.5, 3.7, 11.0, 5.5, 16.5, 5.5, 11.0, 5.5, 5.5, 16.5, 5.5, 16.5, 11.0, 5.5, 8.3, 13.8, 7.3, 5.5, 7.3, 11.0, 2.8, 2.8, 2.8, 13.8, 14.7, 3.7, 13.8, 13.8, 5.5, 16.5, 5.5, 13.8, 11.0, 12.2, 13.8, 9.2, 5.5, 8.3, 18.3, 5.5, 16.5, 11.0, 2.8, 6.9, 18.3, 18.3, 13.8, 8.3, 22.0, 2.8, 17.2, 22.0, 13.8, 11.8, 20.6

**Volumen de obra Caso 2:** 4.2 ml

D: 3.2, 2.5, 4.2, 6.3, 4.2, 8.4, 4.2, 8.4, 2.8, 7.0, 10.5, 8.4, 2.1, 5.6, 4.2, 2.8, 8.4, 4.2, 12.6, 4.2, 8.4, 4.2, 4.2, 12.6, 4.2, 12.6, 8.4, 4.2, 6.3, 10.5, 5.6, 4.2, 5.6, 8.4, 2.1, 2.1, 2.1, 10.5, 11.2, 2.8, 10.5, 10.5, 4.2, 12.6, 4.2, 10.5, 8.4, 9.3, 10.5, 7.0, 4.2, 6.3, 14.0, 4.2, 12.6, 8.4, 2.1, 5.3, 14.0, 14.0, 10.5, 6.3, 16.8, 2.1, 13.1, 16.8, 10.5, 9.0, 15.8

**Concepto de Trabajo:** Techo**Tarea:** Colado de Trabe**Volumen de obra:** 0.280 m<sup>3</sup>**Duración (D):** Minutos**Recursos:** 1 Trabajador

D: 52, 35, 52, 75, 112, 84, 103, 103, 75, 93, 140, 112, 84, 84, 84, 112, 112, 84, 103, 93, 93, 121, 93, 140, 103, 93, 84, 103, 131, 112, 93, 131, 103, 131, 75, 75, 103, 103, 121, 103, 121, 103, 121, 131, 84, 131, 140, 93, 112, 121, 93, 93, 93, 112, 112, 121, 93, 93, 84, 103, 93, 84, 93, 103, 84, 93, 121, 121, 75, 75

**Concepto de Trabajo:** Techo**Tarea:** Acarreo de Acero de refuerzo**Duración (D):** Minutos**Recursos:** 1 Trabajador**Volumen de obra Caso 1:** 16 kg

D: 3.0, 3.6, 2.9, 3.0, 3.0, 1.7, 3.0, 2.2, 2.4, 1.7, 2.4, 3.6, 3.7, 3.0, 3.0, 3.6, 2.9, 2.4, 2.0, 3.0, 3.6, 2.2, 3.7, 3.0, 2.6, 1.7, 2.9, 3.3, 2.9, 2.6, 3.3, 2.9, 2.4, 2.4, 2.6, 2.6, 2.0, 2.0, 2.6, 2.9, 2.4, 2.3, 2.3, 2.1, 2.0, 4.1, 1.8, 2.0, 3.2, 2.0, 3.5, 4.1, 3.0, 2.1, 2.0, 3.2, 2.5, 2.6, 3.9, 1.6, 3.0, 1.6, 3.7, 3.9, 3.2, 3.0, 3.0, 3.7, 1.6, 2.0, 3.7, 1.8, 4.0, 3.5, 2.6, 2.6, 2.8, 3.2, 4.0, 2.0, 3.0, 2.8, 2.7, 2.3, 4.1, 1.8, 2.3, 3.0, 2.8, 3.0, 3.2, 2.6, 2.2, 2.4, 2.9, 3.0, 4.1, 2.6, 2.5, 2.7, 3.1, 2.9, 4.4, 3.6, 3.8, 2.3, 3.3, 2.7, 3.7, 2.4

**Volumen de obra Caso 2:** 16.3 kg

D: 3.1, 3.6, 3.0, 3.1, 3.1, 1.7, 3.1, 2.3, 2.4, 1.7, 2.4, 3.6, 3.8, 3.1, 3.1, 3.6, 3.0, 2.4, 2.0, 3.1, 3.6, 2.3, 3.8, 3.1, 2.7, 1.7, 3.0, 3.4, 3.0, 2.7, 3.4, 3.0, 2.4, 2.4, 2.7, 2.7, 2.0, 2.0, 2.7, 3.0, 2.4, 2.3, 2.3, 2.2, 2.1, 4.2, 1.9, 2.1, 3.3, 2.1, 3.6, 4.2, 3.1, 2.2, 2.1, 3.3, 2.5, 2.6, 3.9, 1.6, 3.0, 1.6, 3.8, 3.9, 3.3, 3.0, 3.1, 3.8, 1.6, 2.1, 3.8, 1.9, 4.0, 3.6, 2.6, 2.6, 2.8, 3.3, 4.0, 2.1, 3.1, 2.8, 2.7, 2.3, 4.2, 1.8, 2.3, 3.1, 2.8, 3.0, 3.3, 2.6, 2.3, 2.4, 2.9, 3.1, 4.2, 2.6, 2.5, 2.7, 3.1, 2.9, 4.5, 3.7, 3.9, 2.3, 3.4, 2.7, 3.8, 2.5

**Concepto de Trabajo:** Techo**Tarea:** Habilitado de acero perimetral**Volumen de obra:** 30 cortes**Duración (D):** Minutos**Recursos:** 1 Trabajador

D: 6.9, 8.1, 6.6, 6.9, 6.9, 3.9, 6.9, 5.1, 5.4, 3.9, 5.4, 8.1, 8.4, 6.9, 6.9, 8.1, 6.6, 5.4, 4.5, 6.9, 8.1, 5.1, 8.4, 6.9, 6, 3.9, 6.6, 7.5, 6.6, 6, 7.5, 6.6, 5.4, 5.4, 6, 6, 4.5, 4.5, 6, 6.6, 5.4, 7.5, 7.5, 6.9, 6.6, 13.5, 6, 6.6, 10.5, 6.6, 11.4, 13.5, 9.9, 6.9, 6.6, 10.5, 8.1, 8.4, 12.6, 5.1, 9.6, 5.1, 12, 12.6, 10.5, 9.6, 9.9, 12, 5.1, 6.6, 12, 6, 12.9, 11.4, 8.4, 8.4, 9, 10.5, 12.9, 6.6, 9.9, 9, 8.7, 7.5, 13.5, 5.7, 7.5, 9.9, 9, 9.6, 10.5, 8.4, 7.2, 7.8, 9.3, 9.9, 13.5, 8.4, 8.1, 17.4, 20.1, 18.6, 28.5, 23.4, 24.6, 15, 21.6, 17.4, 24, 15.9

**Concepto de Trabajo:** Techo**Tarea:** Acarreo de Cimbra**Volumen de obra:** 13 Tablas**Duración (D):** Minutos**Recursos:** 1 Trabajador

D: 3.2, 3.8, 3.1, 3.2, 3.2, 1.8, 3.2, 2.4, 2.5, 1.8, 2.5, 3.8, 3.9, 3.2, 3.2, 3.8, 3.1, 2.5, 2.1, 3.2, 3.8, 2.4, 3.9, 3.2, 2.8, 1.8, 3.1, 3.5, 3.1, 2.8, 3.5, 3.1, 2.5, 2.5, 2.8, 2.8, 2.1, 2.1, 2.8, 3.1, 2.5, 2.4, 2.4, 2.2, 2.1, 4.4, 2.0, 2.1, 3.4, 2.1, 3.7, 4.4, 3.2, 2.2, 2.1, 3.4, 2.6, 2.7, 4.1, 1.7, 3.1, 1.7, 3.9, 4.1, 3.4, 3.1, 3.2, 3.9, 1.7, 2.1, 3.9, 2.0, 4.2, 3.7, 2.7, 2.7, 2.9, 3.4, 4.2, 2.1, 3.2, 2.9, 2.8, 2.4, 4.4, 1.9, 2.4, 3.2, 2.9, 3.1, 3.4, 2.7, 2.3, 2.5, 3.0, 3.2, 4.4, 2.7, 2.6, 2.8, 3.3, 3.0, 4.6, 3.8, 4.0, 2.4, 3.5, 2.8, 3.9, 2.6

**Concepto de Trabajo:** Techo**Tarea:** Cimbrado Perimetral de Losa**Volumen de obra:** 47 m<sup>2</sup>**Duración (D):** Minutos**Recursos:** 1 Trabajador

D: 13.8, 15.5, 20.6, 12.9, 19.2, 16.9, 13.8, 18.1, 18.6, 15.2, 13.8, 12.9, 15.8, 15.5, 17.2, 20.4, 20.1, 18.9, 20.4, 17.5, 14.3, 14.3, 15.8, 15.6, 13.7, 11.6, 18.7, 12.4, 13.3, 15.4, 19.6, 12.0

**Concepto de Trabajo:** Techo**Tarea:** Apuntalamiento de Losa**Volumen de obra:** 46 m<sup>2</sup>**Duración (D):** Minutos**Recursos:** 1 Trabajador

D: 24.6, 27.7, 36.9, 23.0, 34.3, 30.2, 24.6, 32.3, 33.3, 27.1, 24.6, 23.0, 28.2, 27.7, 30.7, 36.4, 35.9, 33.8, 36.4, 31.2, 25.6, 25.6, 28.2, 27.8, 24.4, 20.7, 33.5, 22.2, 23.7, 27.4, 35.7, 22.4

**Concepto de Trabajo:** Techo

**Tarea:** Colocación de acero en Losa

**Volumen de obra:** 30 cortes

**Duración (D):** Minutos

**Recursos:** 1 Trabajador

D: 5.6, 4.5, 7.5, 11.3, 7.5, 15.0, 7.5, 15.0, 5.0, 12.5, 18.8, 15.0, 3.8, 10.0, 7.5, 5.0, 15.0, 7.5, 22.5, 7.5, 15.0, 7.5, 7.5, 22.5, 7.5, 22.5, 15.0, 7.5, 11.3, 18.8, 10.0, 7.5, 10.0, 15.0, 3.8, 3.8, 3.8, 18.8, 20.0, 5.0, 18.8, 18.8, 7.5, 22.5, 7.5, 18.8, 15.0, 16.7, 18.8, 12.5, 7.5, 11.3, 25.0, 7.5, 22.5, 15.0, 3.8, 9.4, 25.0, 25.0, 18.8, 11.3, 30.0, 3.8, 23.4, 30.0, 18.8, 16.1, 28.1

**Concepto de Trabajo:** Techo

**Tarea:** Colocación de malla electro soldada

**Volumen de obra:** 47 m2

**Duración (D):** Minutos

**Recursos:** 1 Trabajador

D: 4.6, 3.1, 5.1, 3.3, 2.8, 3.6, 4.1, 3.3, 4.3, 4.6, 3.8, 5.7, 4.4, 4.6, 4.6, 5.2, 5.1, 5.4, 5.4, 4.4, 6.0, 4.2, 4.2, 5.7, 5.4, 0.8, 4.4, 6.0, 4.7, 4.8, 4.4, 5.1

**Concepto de Trabajo:** Techo

**Tarea:** Colado de Losa con concreto premezclado

**Volumen de obra:** 47 m2

**Duración (D):** Minutos

**Recursos:** 1 Trabajador

D: 18.3, 12.4, 20.3, 13.1, 11.1, 14.4, 16.4, 13.1, 17.0, 18.3, 15.1, 22.9, 17.7, 18.3, 18.3, 21.0, 20.3, 21.6, 21.6, 17.7, 13.5, 9.1, 14.9, 18.0, 12.6, 12.6, 17.1, 16.2, 2.3, 13.1, 18.0, 14.0, 14.4, 13.1, 15.3

**APENDICE D. Resultados con las diferentes ponderaciones para la identificación de las mejores composiciones y organizaciones de las cuadrillas.**

La duración del concepto de trabajo suministrada mediante los modelos de simulación fue transformada en jornales de 8 horas/día.

El costo de la cuadrilla fue calculado sobre los costos de cada tipo de trabajar (oficial, peón, media cuchara)

- Costo Oficial albañil 350 [\$/jornal]
- Costo ayudante peón 200 [\$/jornal]
- Costo ayudante media cuchara 260 [\$/jornal]

	Posición General	Escenario	Cuadrilla		Duración [Jornales]	Costo de la Cuadrilla [PMX]
			Oficial	Ayudante		
<b>CONCEPTO MURO</b>  Costo 50% Duración 50%	1	O	4	0	2.20	\$ 3,084.66
	2	O - MC	3	3	1.96	\$ 3,594.62
	3	O - MC	3	4	1.75	\$ 3,662.54
	4	O - MC	4	3	1.73	\$ 3,762.30
	5	O - P	3	3	2.17	\$ 3,575.62
	6	O - MC	4	4	1.58	\$ 3,866.73
	7	O	3	0	2.92	\$ 3,061.19
	8	O - MC	2	2	2.86	\$ 3,484.27
	9	O - MC	3	2	2.30	\$ 3,616.87
	10	O - P	3	4	2.07	\$ 3,824.99

	Posición General	Escenario	Cuadrilla		Duración [Jornales]	Costo de la Cuadrilla [PMX]
			Oficial	Ayudante		
<b>CONCEPTO MURO</b>  Costo 60% Duración 40%	1	O	4	0	2.20	\$ 3,084.66
	2	O-MC	3	3	1.96	\$ 3,594.62
	3	O	3	0	2.92	\$ 3,061.19
	4	O-P	3	3	2.17	\$ 3,575.62
	5	O-MC	3	4	1.75	\$ 3,662.54
	6	O-MC	4	3	1.73	\$ 3,762.30
	7	O	2	0	3.89	\$ 2,725.87
	8	O-MC	2	2	2.86	\$ 3,484.27
	9	O-MC	4	4	1.58	\$ 3,866.73
	10	O-P	3	2	2.47	\$ 3,581.96

	Posición General	Escenario	Cuadrilla		Duración [Jornales]	Costo de la Cuadrilla [PMX]
			Oficial	Ayudante		
<b>CONCEPTO MURO</b>  Costo 70% Duración 30%	1	O	4	0	2.20	\$ 3,084.66
	2	O	3	0	2.92	\$ 3,061.19
	3	O	2	0	3.89	\$ 2,725.87
	4	O-P	3	3	2.17	\$ 3,575.62
	5	O-MC	3	3	1.96	\$ 3,594.62
	6	O-MC	2	2	2.86	\$ 3,484.27
	7	O-MC	3	4	1.75	\$ 3,662.54
	8	O-MC	4	3	1.73	\$ 3,762.30
	9	O-P	3	2	2.47	\$ 3,581.96
	10	O	1	0	7.72	\$ 2,700.87

	Posición General	Escenario	Cuadrilla		Duración [Jornales]	Costo de la Cuadrilla [PMX]
			Oficial	Ayudante		
<b>CONCEPTO MURO</b>  Costo 80% Duración 20%	1	O	4	0	2.20	\$ 3,084.66
	2	O	3	0	2.92	\$ 3,061.19
	3	O	2	0	3.89	\$ 2,725.87
	4	O	1	0	7.72	\$ 2,700.87
	5	O-MC	2	2	2.86	\$ 3,484.27
	6	O-P	3	3	2.17	\$ 3,575.62
	7	O-MC	3	3	1.96	\$ 3,594.62
	8	O-MC	1	1	5.46	\$ 3,330.55
	9	O-P	2	2	3.20	\$ 3,525.12
	10	O-P	3	2	2.47	\$ 3,581.96

	Posición General	Escenario	Cuadrilla		Duración [Jornales]	Costo de la Cuadrilla [PMX]
			Oficial	Ayudante		
<b>CONCEPTO TECHO</b>  Costo 50% Duración 50%	1	O	4	0	1.57	\$ 2,193.00
	2	O	3	0	1.84	\$ 1,935.78
	3	O-P	3	3	1.56	\$ 2,568.88
	4	O-P	3	4	1.46	\$ 2,706.00
	5	O-P	2	2	1.88	\$ 2,066.45
	6	O-P	3	2	1.67	\$ 2,423.29
	7	O-P	2	3	1.77	\$ 2,296.21
	8	O-P	4	3	1.43	\$ 2,865.50
	9	O-MC	3	3	1.54	\$ 2,812.81
	10	O-P	4	4	1.38	\$ 3,027.56

	Posición General	Escenario	Cuadrilla		Duración [Jornales]	Costo de la Cuadrilla [PMX]
			Oficial	Ayudante		
<b>CONCEPTO TECHO</b>  Costo 60% Duración 40%	1	O	4	0	1.57	\$ 2,193.00
	2	O	3	0	1.84	\$ 1,935.78
	3	O-P	2	2	1.88	\$ 2,066.45
	4	O-P	2	0	2.46	\$ 1,723.75
	5	O-P	2	3	1.77	\$ 2,296.21
	6	O-P	3	3	1.56	\$ 2,568.88
	7	O-P	3	2	1.67	\$ 2,423.29
	8	O-P	2	1	2.28	\$ 2,054.96
	9	O-P	3	4	1.46	\$ 2,706.00
	10	O-MC	1	3	2.02	\$ 2,277.70

	Posición General	Escenario	Cuadrilla		Duración [Jornales]	Costo de la Cuadrilla [PMX]
			Oficial	Ayudante		
<b>CONCEPTO TECHO</b>  Costo 70% Duración 30%	1	O	3	0	1.84	\$ 1,935.78
	2	O	4	0	1.57	\$ 2,193.00
	3	O	2	0	2.46	\$ 1,723.75
	4	O-P	2	2	1.88	\$ 2,066.45
	5	O-P	2	1	2.28	\$ 2,054.96
	6	O-MC	1	1	3.09	\$ 1,886.14
	7	O-P	2	3	1.77	\$ 2,296.21
	8	O-P	3	2	1.67	\$ 2,423.29
	9	O-MC	1	2	2.41	\$ 2,099.41
	10	O-MC	1	3	2.02	\$ 2,277.70

	Posición General	Escenario	Cuadrilla		Duración [Jornales]	Costo de la Cuadrilla [PMX]
			Oficial	Ayudante		
<b>CONCEPTO TECHO</b>  Costo 80% Duración 20%	1	O	3	0	1.84	\$ 1,935.78
	2	O	2	0	2.46	\$ 1,723.75
	3	O	4	0	1.57	\$ 2,193.00
	4	O-MC	1	1	3.09	\$ 1,886.14
	5	O-P	2	2	1.88	\$ 2,066.45
	6	O-P	2	1	2.28	\$ 2,054.96
	7	O-P	1	1	3.59	\$ 1,975.52
	8	O-MC	1	2	2.41	\$ 2,099.41
	9	O-P	2	3	1.77	\$ 2,296.21
	10	O-MC	1	3	2.02	\$ 2,277.70