

Propuesta de un proceso de medición y análisis del trabajo operativo de la mano de obra en distintas actividades constructivas para la división Scala de la empresa Edica Ltda.

**ESCUELA DE INGENIERÍA EN CONSTRUCCIÓN
CONSTANCIA DE PRESENTACIÓN PÚBLICA DEL PROYECTO DE GRADUACIÓN**

**Propuesta de un proceso de medición y análisis del trabajo
operativo de la mano de obra
en distintas actividades constructivas para la división Scala de la empresa Edica
Ltda**

Llevado a cabo por el estudiante:

Mata Ortiz Andrés

Carné: 2018129794

Proyecto de Graduación presentado públicamente ante el Tribunal Evaluador el martes 01 de agosto de 2023 como requisito parcial para optar por el grado de Licenciatura en Ingeniería en Construcción, del Instituto Tecnológico de Costa Rica.

En fe de lo anterior firman los siguientes integrantes del Tribunal evaluador:

TEC | Tecnológico
de Costa Rica

Firmado digitalmente por
JOSE ANDRES ARAYA
OBANDO (FIRMA)
Fecha: 2023.08.29 14:33:15
-06'00'

Dr. Ing. José Andrés Araya Obando
Director de la Escuela

**MANUEL
ANTONIO ALLAN
ZUÑIGA (FIRMA)**

Firmado digitalmente por
MANUEL ANTONIO
ALLAN ZUÑIGA (FIRMA)
Fecha: 2023.08.21
18:30:09 -06'00'

Ing. Manuel Alán Zúñiga, MGP, MBA
Profesor Guía

**MILTON ANTONIO
SANDOVAL
QUIROS (FIRMA)**

Firmado digitalmente por
MILTON ANTONIO
SANDOVAL QUIROS (FIRMA)
Fecha: 2023.08.21 14:07:17
-06'00'

Ing. Milton Sandoval Quirós, MAE
Profesor Lector

**MIGUEL FRANCISCO
ARTAVIA ALVARADO
(FIRMA)**

Firmado digitalmente por MIGUEL
FRANCISCO ARTAVIA ALVARADO
(FIRMA)
Fecha: 2023.08.21 15:57:17 -06'00'

Ing. Miguel Artavia Alvarado, MAP
Profesor Observador

Resumen

El objetivo principal de este trabajo de investigación y de campo es identificar las principales limitaciones y oportunidades de mejora en cuanto a la medición y el procesamiento de la información de productividad de la mano de obra para la división Scala de la empresa Edica Ltda. Después de la etapa de establecimiento del estado actual de la compañía en cuanto a medición de productividad se propone un proceso estructurado que permita optimizar el tiempo empleado y mejorar los resultados de mediciones de productividad. Finalmente, se le busca dar a la empresa una herramienta programada en un *software* de procesamiento numérico que obtenga información gráfica a partir de mediciones en campo.

El proceso propuesto se basa en una metodología de mejora continua y se compone de varias etapas interrelacionadas. Desde la definición del objetivo y los procesos por medir, pasando por la toma de mediciones y procesamiento de la información para analizarla en profundidad. Por último, las mejoras logradas con el procedimiento y herramienta propuesta se muestran en un análisis de brecha de los resultados y del procedimiento correspondiente que muestran en tablas los resultados con el presente trabajo.

Palabras clave: Construcción, productividad, mano de obra, procesos constructivos, análisis de brecha, proceso de recolección de datos, herramienta programada.

Abstract

The main objective of this research and field work is to identify the main limitations and opportunities for improvement in relation to the measurement and processing of productivity information and labor yields for the Scala division of the company Edica Ltda. After the stage of establishing the current state of the company in terms of productivity measurement, a structured process is proposed to optimize the time spent and improve the results of productivity measurements. Finally, we seek to provide the company with a tool programmed in a numerical processing software to obtain graphical information from field measurements.

The proposed process is based on a continuous improvement methodology and consists of several interrelated stages. From the definition of the objective and the processes to be measured, through the taking of measurements and processing of the information to analyze this information in depth. Finally, the improvements achieved with the proposed procedure and tool are shown in a gap analysis of the results and of the corresponding procedure, showing in tables the results obtained with the present work.

Key words: Construction, performance, productivity, labor, construction processes, gap analysis, information collection process, programmed tool.

Propuesta de un proceso de medición y análisis del trabajo operativo de la mano de obra en distintas actividades constructivas para la división Scala de la empresa Edica Ltda.

ANDRÉS MATA ORTIZ

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

Mayo de 2023

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA
ESCUELA DE INGENIERÍA EN CONSTRUCCIÓN

Contenido

Resumen ejecutivo	2
Introducción	6
<i>Objetivo general</i>	8
<i>Objetivos específicos</i>	8
Capítulo 1: Marco teórico	9
1.1 <i>Industria de la construcción</i>	9
1.2 <i>Proceso constructivo</i>	10
1.3 <i>Rendimiento</i>	10
1.4 <i>Productividad</i>	11
1.5 <i>Técnicas y herramientas para medición de productividad</i>	12
1.6 <i>Análisis de brecha</i>	14
Capítulo 2: Metodología	15
2.1 <i>Tipos de investigación</i>	15
2.2 <i>Fuentes primarias y secundarias de información</i>	16
2.2.1 <i>Fuentes de información primaria</i>	16
2.2.2 <i>Fuentes de información secundaria</i>	16
2.3 <i>Sujetos de información</i>	17
2.4 <i>Herramientas y técnicas para la recopilación y análisis de datos e información</i>	17
2.4.1 <i>Herramientas que se utilizan para recopilar información</i>	18
2.4.1.1 <i>Desarrollo de los instrumentos</i>	18
2.4.2 <i>Herramientas que se utilizan para analizar la información</i>	19
2.4.2.1 <i>Descripción del proceso de análisis</i>	19
Capítulo 3: Resultados	22
3.1 <i>Análisis actual del uso del tiempo de la mano de obra en distintos procesos constructivos</i>	22
3.1.1 <i>Contexto actual de la medición de productividad en Scala</i>	23
3.1.2 <i>Resultados de clasificación del tiempo de la mano de obra por el método actual</i>	24
3.1.3.1 <i>Contexto de los procesos constructivos del proyecto</i>	24
3.1.3.2 <i>Trabajos de pintura</i>	25
3.1.3.3 <i>Colocación de silicón en juntas</i>	28

3.1.3.4	Instalación de puertas	30
3.1.3.5	Perforación de paneles	32
3.1.3.6	Colocación de piso epóxico.....	34
3.2	Procedimiento para el análisis de la productividad de la mano de obra en distintas actividades constructivas	37
3.2.1	Técnicas de recolección de datos	38
3.2.2	Procedimiento para la medición de productividad y obtención de clasificaciones del tiempo	38
3.2.2.1	Definir el objetivo de las mediciones	38
3.2.2.2	Definir los procesos constructivos por medir	39
3.2.2.3	Establecer los criterios de evaluación	39
3.2.2.4	Tomar las mediciones	39
3.2.2.5	Evaluar el trabajo.....	39
3.2.2.6	Calcular la productividad de la mano de obra.....	40
3.2.2.7	Proporcionar retroalimentación y establecer objetivos	40
3.2.3	Diagrama de flujo con procedimiento de medición de productividad y obtención de clasificaciones del tiempo	40
3.2.4	Matriz para la recolección de mediciones de productividad	41
3.2.4.1	Tiempo en trabajo productivo	43
3.2.4.2	Tiempo en trabajo contributivo	43
3.2.4.3	Tiempo en trabajo no productivo.....	44
3.3	Herramienta para el procesamiento estadístico de las mediciones de productividad y obtención de clasificaciones del tiempo	47
3.3.1	Herramienta de procesamiento estadístico	47
3.3.1.1	Conteo de mediciones.....	48
3.3.1.2	Tablas con datos estadísticos	49
3.3.2	Tablas y gráficos con los resultados de las mediciones en campo para los distintos procesos constructivos	51
3.3.2.1	Trabajos de pintura.....	51
3.3.2.2	Colocación de silicón en juntas	57
3.3.2.3	Instalación de puertas	62
3.3.2.4	Perforación de paneles de cuarto limpio	67
3.3.2.5	Colocación de piso epóxico.....	71
3.4	Análisis de brecha y propuestas de mejora	76
3.4.1	Diagrama de flujo del proceso propuesto	76
3.4.2	Análisis de brecha de resultados	78
3.4.3	Análisis de brecha de procesos	81
Capítulo 4:	Análisis de los resultados	84
4.1	Análisis actual de los usos del tiempo de la mano de obra en distintos procesos constructivos.....	84
4.1.1	Usos del tiempo obtenidos mediante el método propuesto	84
4.1.1.1	Trabajos de pintura y perforación de paneles.....	85
4.1.1.2	Colocación de silicón en juntas	85
4.1.1.3	Instalación de puertas	85
4.1.1.4	Colocación de piso epóxico.....	85
4.2	Procedimiento para la medición de productividad y obtención de clasificaciones de tiempo de la mano de obra en distintas actividades constructivas.....	86
4.2.1	Procedimiento de medición de productividad y obtención de clasificaciones de tiempo	86
4.2.1.1	Definir el objetivo de las mediciones	86
4.2.1.2	Definir los procesos constructivos por medir	86
4.2.1.3	Establecer los criterios de evaluación	87

4.2.1.4 Tomar las mediciones	87
4.2.1.5 Evaluar el trabajo.....	87
4.2.1.6 Calcular la productividad de la mano de obra	87
4.2.1.7 Proporcionar retroalimentación y establecer objetivos	87
4.2.2 Matriz de medición de productividad	88
<i>4.3 Herramienta para el procesamiento estadístico de las mediciones de productividad y obtención de clasificaciones de tiempo</i>	<i>88</i>
4.3.1 Herramienta	88
4.3.2 Resultados de mediciones.....	88
4.3.2.1 Trabajos de pintura.....	88
4.3.2.2 Perforación de paneles	89
4.3.2.3 Colocación de silicón en juntas	89
4.3.2.4 Instalación de puertas	89
4.3.2.5 Colocación de piso epóxico.....	90
<i>4.4 Análisis de brecha y propuestas de mejora</i>	<i>90</i>
4.4.1 Análisis de brecha de resultados.....	90
4.4.2 Análisis de brecha de procedimiento.....	90
Conclusiones y recomendaciones	92
<i>Conclusiones.....</i>	<i>92</i>
<i>Recomendaciones.....</i>	<i>93</i>
Referencias bibliográficas.....	94
Apéndices.....	96
<i>Apéndice 1</i>	<i>96</i>

Resumen ejecutivo

En el campo de la industria de la construcción, la eficiencia en la productividad y el uso del tiempo de la mano de obra son factores cruciales para el éxito de los proyectos. En este contexto, el presente trabajo final de graduación se enfocó en proponer un proceso de análisis y mejora de la eficacia en cuanto al uso del tiempo y la productividad de la mano de obra en distintas actividades constructivas, dirigido específicamente a la división Scala de la empresa Edica Ltda.

El objetivo principal de esta investigación fue identificar las principales limitaciones y oportunidades de mejora en cuanto a la medición de productividad de la mano de obra en las actividades constructivas llevadas a cabo por la división Scala de Edica Ltda. Posteriormente, se propuso un proceso estructurado que permita analizar y mejorar estos aspectos clave, con el fin de aumentar el desempeño de los proyectos y garantizar la satisfacción del cliente.

El proceso propuesto se basa en una metodología de mejora continua y se compone de varias etapas interrelacionadas. El inicio del procedimiento de medición propuesto se da al definir el objetivo de las mediciones, esto con el fin de establecer los procesos constructivos por medir y dar los criterios de evaluación claramente. Después, se procede a tomar las mediciones de productividad en campo, con el fin de evaluar el trabajo y calcular la productividad de la mano de obra. Por último, se logra con el procedimiento propuesto proporcionar retroalimentación y establecer objetivos claros que la empresa pueda seguir para mejorar el tiempo operativo de las cuadrillas de trabajo en distintos procesos constructivos.

Los resultados que se esperan de este estudio incluyeron una mejora significativa en la medición de la productividad de la mano de obra en las actividades constructivas de la división Scala de Edica Ltda., lo que se traduce en un mejor desempeño general de los proyectos. Además, se espera que la implementación de este proceso y herramienta programada para el de análisis y mejora contribuya con fortalecer la cultura de mejora continua en la empresa y promueva un enfoque sistemático para abordar los desafíos que se relacionan con la mano de obra en la construcción.

Durante la realización del trabajo se obtuvo información de fuentes bibliográficas de Internet, así como de libros y consultas directas al profesor guía del trabajo y al equipo de ingeniería del proyecto de cuartos limpios para Edwards Lifesciences en zona franca la Lima de Cartago. Esta información permitió desarrollar el trabajo, así como determinar puntos de mejora que se intentaron abordar durante su elaboración.

Los cuatro capítulos del trabajo atienden al problema inicial, el cual era normar y mejorar la medición de productividad de la mano de obra en la división Scala, de Edica Ltda. Esto se debe a que la empresa se encuentra en un mercado de la construcción sumamente competitivo, donde debía sobre la competencia establecer distintos conceptos entre los cuales estaba el mejor aprovechamiento de sus recursos humanos.

A partir de este problema se trabajó inicialmente en definir en una sección completa del trabajo a establecer el punto de partida, para responder a la pregunta: ¿Cómo mide la productividad de la mano de obra la empresa actualmente? Para esto, se consultó a los profesionales del proyecto sobre los procedimientos que la compañía tenía y se concluyó que no existía un procedimiento normado para definir la efectividad del tiempo de la mano de obra, entre esto se destacó que usualmente cada ingeniero definía la forma en la que quería que se obtuviera la información deseada y que en la empresa por lo general estas ediciones las lleva a cabo un asistente de ingeniería al tratarse de un trabajo que toma tiempo y es repetitivo.

Posteriormente, se detalló el procedimiento paso a paso sobre cómo se propone establecer un método normado para medir estructuradamente la productividad de la mano de obra. El paso a paso desarrollado se detalla a continuación:

1. **Definir el objetivo de las mediciones:** Antes de que se empiece a tomar mediciones es importante tener claro o explicarle a la persona que medirá la razón por la que se requiere medir la productividad de la mano de obra para actividades constructivas concretas.
2. **Definir los procesos constructivos por medir:** Se debe ser definir el trabajo que se evalúa, asegurándose de que esté claro el proceso constructivo en el que el trabajador debe de enfocarse, así como las buenas prácticas tanto de medición como del proceso en sí.
3. **Establecer los criterios de evaluación:** El siguiente paso es establecer los criterios de evaluación que se utilizan para medir la productividad. Estos criterios deben ser específicos, mensurables y objetivos.
4. **Tomar las mediciones:** El evaluador debe observar el trabajo que realiza un operario específico durante un periodo de 5 minutos.
5. **Evaluar el trabajo:** Después de la observación, el evaluador debe valorar el trabajo de acuerdo con una serie de criterios en:
 - Productivo: Utilizado en la ejecución de la actividad constructiva.
 - Contributivo: Utilizado para ayudar a la tarea sin ejecutarla directamente.
 - No productivo: Utilizado en acciones totalmente ajenas a la actividad.
6. **Calcular la efectividad del tiempo de la mano de obra:** Para calcular la efectividad del tiempo de la mano de obra se deben obtener porcentajes de los usos del tiempo de esta. El objetivo es representar el porcentaje específico de cada uso de tiempo en distintos tipos de gráficos, como pueden ser de pastel, de columnas o de crew balance.
7. **Proporcionar retroalimentación y establecer objetivos:** El evaluador debe pasar los resultados de las mediciones al Departamento de Ingeniería del proyecto correspondiente para comentarse y utilizarse con los fines convenientes, ya sea mejorar las condiciones de los trabajadores, guardar respaldos de los procesos llevados a cabo, sancionar a los subcontratistas por ineficiencia o cualquier otro fin oportuno.

De forma que la empresa sin invertir muchos recursos pudiera obtener información respaldada, útil y ordenada sobre la productividad en campo de las cuadrillas de trabajo. Para esto, se implementaron herramientas como el *five minutes rating* y el *crew balance*. Además, en este apartado se propuso una matriz de medición de productividad d la mano de obra en campo, la cual se muestra a continuación:

Detalle del proceso: XXX

Portada

Intervalos de 5 minutos	Trabajo productivo	Trabajo contributivo						Trabajo no productivo					Notas	
		Apoyo	Instrucción	Medición	Supervisión	Trazo	Transporte -10 m	Transporte +10 m	Ausente	Descanso	Esperas	Retrabajo		Ocioso
0														
5														
10														
15														
20														
25														
30														
35														
40														
45														
50														
55														
60														
65														
70														
75														
80														
85														
90														
95														
100														
105														
110														
115														
120														
TOTALES	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

NOTAS: XXX

Simbología	
X	XXX

Se continuó detallando el paso a paso del uso de una herramienta propuesta creada para que la empresa la pueda utilizar a modo de *hoja en blanco* para la obtención automática de clasificaciones del tiempo a partir del llenado de una matriz. Esto proporcionaría trazabilidad e información valiosa que pueda utilizarse en reuniones o para hacer programación de obra al conocer la forma de trabajo del proyecto.

Después, se realizaron análisis de brecha cuantitativos donde se compararon los resultados y los procedimientos de medición para conocer la mejora lograda con el trabajo realizado. Estos se enfocaron en los resultados de un proceso constructivo para ver numéricamente la diferencia entre resultados que se esperan por el método tradicional de medición de productividad y los resultados con mediciones en campo con el método paso a paso propuesto. Las diferencias encontradas fueron principalmente en el tiempo productivo donde hubo un 9 % más de tiempo productivo por el método propuesto y en el tiempo contributivo donde hubo un 7 % menos de tiempo contributivo por el método propuesto de medición de productividad. Por último, en el tiempo no contributivo hubo una diferencia de solo 3 % entre ambos métodos, siendo este porcentaje menor por el sistema propuesto.

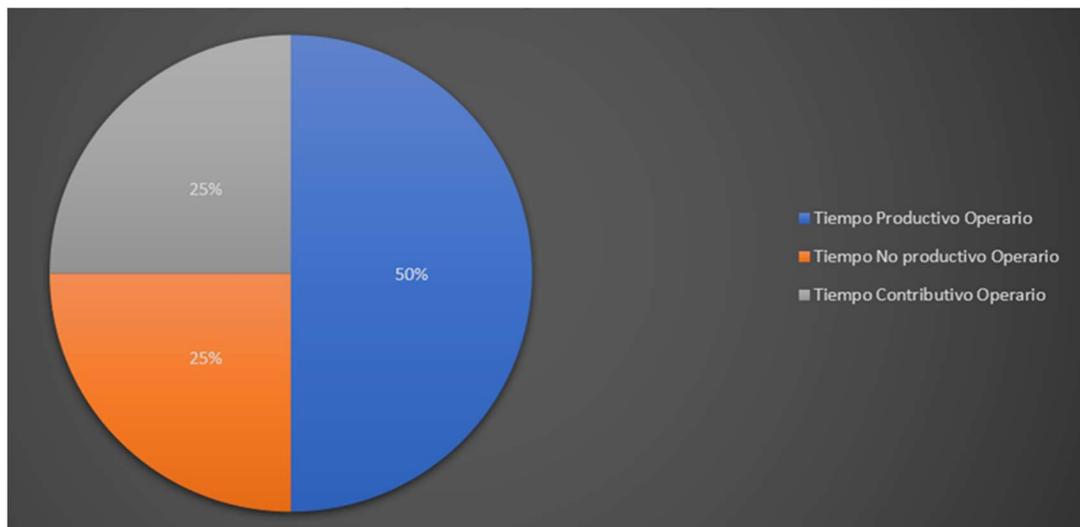
Finalmente, el otro análisis de brecha fue cualitativo y se enfocó en determinar la diferencia entre el procedimiento tradicional seguido por la empresa en la actualidad y el procedimiento paso a paso de medición propuesto. Las principales diferencias encontradas fueron las siguientes:

1. **Los criterios de evaluación:** El método actual no tiene un proceso de medición de productividad definido y el método propuesto da un paso a paso para medición de productividad.
2. **Obtención de mediciones:** Actualmente se discuten los resultados entre profesionales y se toman mediciones, mientras que en el método actual las mediciones se obtienen en campo.
3. **Evaluación de trabajo:** En el método actual las posibilidades de clasificación del tiempo son menores que en el método propuesto.

4. **Cálculo de tiempo efectivo:** Actualmente se obtienen los usos del tiempo de la mano de obra con base en la experiencia de los ingenieros mientras que en el método propuesto se obtienen clasificaciones del uso del tiempo mediante cálculos estadísticos y gráficas automatizadas.
5. **Retroalimentación:** En el método actual utilizado por la empresa da mayor cabida al error por tratarse de decisiones humanas mientras que el método propuesto permite tomas de decisiones más arriesgadas por existir certeza y respaldo de los datos.

El proceso de medición de productividad propuesto se compone de la matriz presentada anteriormente en este resumen y de la herramienta que se genera con métodos tecnológicos para que la compañía procese la información recolectada con mediciones. A continuación, se muestra un cuadro y una gráfica los cuales se generan mediante la implementación de la herramienta programada propuesta, el cuadro muestra un resumen numérico de las mediciones tomadas y la gráfica muestra de forma visual la información recopilada:

Resumen de datos obtenidos en mediciones													
Total de muestras	Trabajo Productivo	Trabajo Contributivo							Trabajo No Productivo				
0		Apoyo	Instruccion	Medicion	Supervisión	Trazo	Trans -10m	Trans +10m	Ausente	Descanso	Esperas	Retrabajo	Ocioso
Subtotales	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Porcentajes	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
Totales	0	0							0				
Porcentajes totales	0%	0%							0%				



Introducción

La empresa Edica Limitada es una de las constructoras con más trayectoria en la historia de Costa Rica, con 65 años de existencia muchos de los grandes proyectos que se han desarrollado en el país fueron ejecutados por esta compañía. Aunado a esto la empresa ha tenido un proceso de expansión en el que se han desarrollado proyectos fuera de Costa Rica y se han creado divisiones con especialidades específicas como Copal o Scala.

Específicamente, Scala se encarga de desarrollar proyectos de remodelación y acabados de máxima calidad para los sectores de industria y corporativo. Ejemplos de este tipo de proyectos son remodelaciones de oficinas en grandes ofiencentros, construcción de cuartos limpios para industria médica o remodelaciones de naves industriales para la llegada de empresas extranjeras a Costa Rica. En Scala y en un proyecto de construcción de cuartos limpios para industria médica se desarrolla el presente trabajo final de graduación.

El presente trabajo busca dejarle un aporte a la empresa que brinda la oportunidad de desarrollar este trabajo final, para esto, se estudia el caso de la compañía en el momento de elegir el tema del trabajo. Se seleccionó el análisis de el uso que las cuadrillas de trabajo le dan al tiempo debido al estado actual de este procedimiento en la empresa, el cual no está tan estandarizado como podría y deja espacios a subjetividad en el momento de toma de mediciones.

Todo desarrollo de mejora de un sistema para una compañía debe iniciar contextualizando el presente, además, se debe definir en profundidad todo lo que se esté haciendo bien o mal en la materia. Después de definir estas bases se pueden proponer herramientas, procesos, planes de acción y otras formas para mejorar un proceso actual. De esta manera, con el desarrollo requerido para un tema complejo se busca contextualizar y proponer acciones de mejora que sean de utilidad para Scala.

Según Cantú *et al.* (2018), la productividad en la industria de la construcción consiste en la relación entre lo producido y lo gastado en esto. De forma simplificada es una medición de la eficiencia con que se administran los recursos para completar un producto delimitado, en un plazo definido y con un estándar de calidad especificado. La industria de la construcción es una de las que mayor cantidad de dinero mueve en el ámbito mundial, pese a esto es una de las menos productivas. En esta industria es usual ver parte de la mano de obra que genera tiempo improductivo como parte de su trabajo, esto en actividades ajenas a los procesos constructivos o al realizar retrabajos por falta de planificación. Estas bajas en el tiempo efectivo tienen un efecto directo sobre el costo final de la obra debido a la cantidad de mano de obra que debe contratarse para la construcción, así como por la cantidad de horas pagadas a los trabajadores para ejecutar una tarea.

El problema descrito es el que se presenta en Scala y el que se quiere solucionar y darle seguimiento en la presente práctica profesional dirigida. La empresa solicitó directamente que este fuera el tema desarrollado debido a que en todo proyecto que se relaciona con la construcción siempre presenta aspectos por optimizar en los procesos constructivos, que con lo complejo que son los proyectos de Scala y el grado de excelencia que exigen sus clientes deben funcionar de la forma más ajustada posible. La industria de la construcción tiene problemáticas únicas, como una curva de aprendizaje reducida, baja escolaridad en la mano de obra y falta de motivación en el personal, factores que a Scala como división de Edica, una compañía certificada como *great place to work* le interesa atender. A la empresa le interesa operar con las menores pérdidas de tiempo y de recursos posibles, para mejorar los procesos y el dinero invertido. Por ende, mediante el trabajo por realizar Scala busca tener un proceso de análisis de productividad que permita mejoras constantes en los proyectos futuros que deban ejecutar.

Como se mencionó, la importancia de la optimización de los procesos en la industria de la construcción es enorme debido a los bajos aprovechamientos del tiempo que se presentan con frecuencia en los proyectos. Cabe mencionar que, así como esta labor es importante, es complicada de realizar debido a factores como

características de los trabajadores, lo agotador del trabajo que realizan y de las condiciones únicas de cada proyecto. Cantú *et al.* en el año 2018 vieron la necesidad de llevar a cabo un estudio para la Universidad Nacional de Cuyo en Argentina donde analizaron algunos de los principales factores que afectan la productividad de la mano de obra en las obras civiles. Este estudio buscaba ser una base para determinar algunos de los factores a los que más atención hay que prestarle en el momento de realizar mediciones de productividad. En el Instituto Tecnológico de Costa Rica se destaca la relevancia del tema por tratar en la presente práctica profesional, tema al que se le dedicó parte de la materia del curso de Diseño de procesos constructivos. En este curso se vio cómo generar guías de mediciones y hojas electrónicas para estandarizar el proceso de medición, mediante técnicas como el *five minutes rating* y *crew balance* en la herramienta computacional de Microsoft Excel®.

En el año 2014 se vio la necesidad de realizar un análisis preliminar sobre cómo se ha movido la productividad y eficiencia en la construcción intentando explicar el comportamiento en la construcción colombiana entre los años 2005 y 2010. Este estudio se realizó con éxito y, de igual forma, se utiliza como base para analizar el problema que se planteó en un análisis de la productividad en la construcción de vivienda basada en la observación de la mano de obra en campo, realizado por Gómez y Morales en el año 2015 para la Pontificia Universidad Javeriana de Bogotá.

Finalmente, se propone el planeamiento de este trabajo final de grado, el cual genera un procedimiento de análisis de productividad para atender a la necesidad de Scala de optimizar sus recursos humanos y económicos. Por lo tanto, aparte del proceso de medición de productividad, se requiere de una herramienta programada en Microsoft Excel® para el almacenamiento y procesamiento de datos que se obtienen mediante mediciones de campo. Por último, se proporciona un plan de acción con propuestas claras, innovadoras y alcanzables para reducir el impacto del problema que se planteó en los futuros proyectos de Scala.

Los objetivos del trabajo atienden a proponer una metodología y una herramienta que mejore el proceso de medición de la productividad de la mano de obra en los procesos constructivos de Scala. Para esto, el primer objetivo específico atiende a la necesidad de conocer el estado actual de la empresa. El segundo busca proponer un paso a paso que permita estandarizar el procedimiento de medición de productividad de la mano de obra en los proyectos de Scala. Otro objetivo se enfoca en programar y explicar paso a paso el funcionamiento de una herramienta programada para procesar las mediciones de campo en Microsoft Excel®. Finalmente, se realizan análisis de brecha que permiten determinar las diferencias y mejoras logradas en los resultados de usos del tiempo y en el proceso de medición con el procedimiento propuesto en el presente trabajo final de graduación.

El presente trabajo incluye la explicación completa del estado actual de la empresa en materia de medición de productividad y las fuentes de donde proviene la información. De igual forma, se presenta el paso a paso propuesto para estandarizar la medición de productividad de la mano de obra, así como una matriz de toma de mediciones para el almacenamiento de la información. Posteriormente, se presenta un manual de uso de la herramienta propuesta para el procesamiento de los datos recolectados en la matriz de medición de productividad. Esta herramienta pretende entregarse a Scala para su revisión e implementación en proyectos futuros, la cual es automática y toma por sí sola los datos recolectados en la matriz propuesta y los procesa, tabula y grafica para su análisis y toma de decisiones por parte del Departamento de Ingeniería del proyecto correspondiente. Por último, se presentan análisis de brecha definiendo la diferencia entre los resultados y los procedimientos que se obtienen antes y después de la realización del presente trabajo.

Al tratarse con un trabajo con un gran componente de campo, surge una serie de limitaciones propias del entorno, principalmente que se relacionan con los horarios de ejecución de los procesos constructivos. Esto se debe a que estos no estaban disponibles todo el tiempo para ser medidos y a veces las ejecuciones de los procesos eran en horas simultáneas, lo que complicaba la medición de cada proceso, ya que dentro del procedimiento de medición propuesto no se permite medir más de un proceso constructivo a la vez.

Se le dedica un agradecimiento especial al apoyo del profesor guía del proyecto que ayudó con la obtención de datos valiosos, fuentes bibliográficas, libros y revisión atenta de los avances del trabajo. Por otro lado, por parte de la empresa se le agradece profundamente al equipo de ingeniería, así como al maestro de obras del proyecto. Todos ellos aportaron experiencia e información valiosa sobre el proyecto y la compañía.

Con base al contexto anterior se presentan a continuación el objetivo general y los objetivos específicos del presente trabajo. Estos marcan la línea de trabajo a seguir y el alcance esperado del trabajo final de graduación.

Objetivo general

Proponer un proceso para la medición y análisis del trabajo operativo de la mano de obra en distintos procesos constructivos para la división Scala de la empresa Edica Ltda.

Objetivos específicos

1. Realizar el análisis actual de medición y análisis del trabajo operativo de la mano de obra en distintos procesos constructivos de Scala para la identificación de las oportunidades de mejora.
2. Desarrollar el análisis de la productividad de la mano de obra en distintas actividades constructivas de Scala para establecer su impacto en el trabajo operativo de la mano de obra.
3. Elaborar una herramienta en el programa Microsoft Excel® como parte del proceso de medición y análisis para el procesamiento estadístico de la información y clasificación del trabajo operativo como productivo, contributivo y no productivo.
4. Elaborar análisis de brechas entre los resultados y los procedimientos por los métodos tradicionales y propuestos para la validación de las soluciones implementadas.

Capítulo 1: Marco teórico

En el presente capítulo del trabajo se busca ofrecer un sustento teórico inicial al resto del documento. Esto mediante la definición de múltiples conceptos y temas por tratar a lo largo de la investigación. Para este fin se usan libros, tesis y distintas fuentes fiables de Internet, de las cuales se extrae información relevante y se sintetiza en los párrafos a continuación.

1.1 Industria de la construcción

La industria se define como una actividad que comprende áreas económicas y técnicas mezcladas con el objetivo de entregar productos funcionales a una población. Con el paso del tiempo la industria ha crecido, por lo que se ha modernizado y ramificado. Es así como en la actualidad se pueden ver el caso de industrias muy particulares, que generan rentabilidad, a la vez que fomentan el desarrollo en forma de empleo y bienes de consumo (Lozada, 2014).

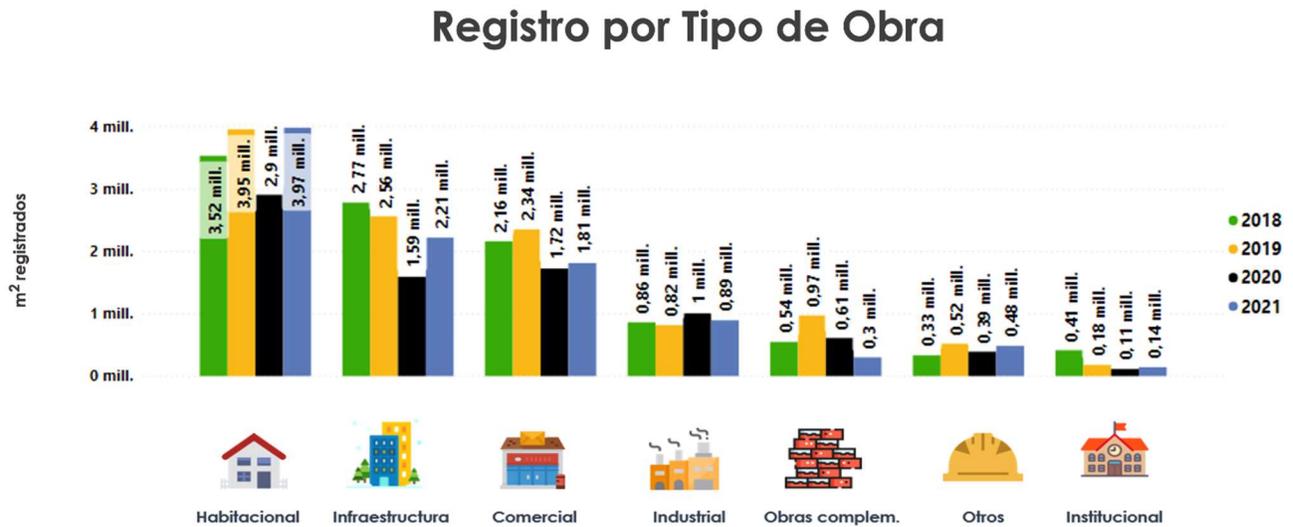
La construcción se clasifica como industria en todos sus sentidos, la cual busca desarrollo económico, al fomentar la creación de empleos, tanto cualificados como no cualificados, lo que genera bienes o facilidades a los grupos poblacionales y es parte del motor económico de un país. Como toda actividad industrial la construcción tiene sus particularidades, retos, detalles y problemáticas que se describen en el presente trabajo (Cámara Costarricense de la Construcción).

La industria de la construcción compone una parte de suma importancia en el desarrollo de los países debido a que proporciona la infraestructura para las actividades que se realizan diariamente, dotando de facilidades a los distintos sectores de la economía de un país. Se puede poner el ejemplo de un puente, que al conectar comunidades aisladas permite el transporte de las personas y bienes de consumo con agilidad. De igual forma, se puede dar el ejemplo (este es el caso del presente trabajo final de graduación) de una remodelación de una planta industrial donde una vez concluido el proyecto se da trabajo estable a decenas de personas produciendo bienes de exportación. No obstante, a la vez, la industria de la construcción presenta características muy peculiares y distintas a otras (Abarca, 2016).

Por la importancia que este mercado tiene para el desarrollo país es que la industria constructiva ha crecido en competitividad con los años y surge la pregunta sobre si ha evolucionado la industria de la construcción con la rapidez y agilidad que se requiere en los tiempos modernos. Este tipo de preguntas son importantes porque generan investigaciones y análisis como el presente trabajo, en los cuales se profundiza para determinar el estado actual de la industria de la construcción.

En la Figura 1 proveniente del Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos (CFIA) se muestra la distribución del uso de las construcciones en Costa Rica en los últimos años, excluyendo obras de infraestructura vial. Este tipo de datos estadísticos están cargados de valor, lo cual se debe a que al analizarlos en profundidad se determina el comportamiento que toma un área de interés. En este caso específico se observa cómo el uso habitacional en el país es el más buscado, por encima de otros sectores como el industrial o el institucional.

Figura 1: Distribución de los usos de las construcciones en Costa Rica



Fuente: Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos, 2021.

1.2 Proceso constructivo

Continuando con información de relevancia para el presente trabajo se tiene el concepto de proceso, el cual corresponde a una serie de tareas que se relacionan entre sí, que juntas transforman las entradas en salidas. En ingeniería los procesos pueden hacerse por personas, máquinas o por la misma naturaleza. Se debe considerar en el contexto de quien realiza las tareas y los recursos involucrados en el proceso (Sabino, 2014).

En cuanto a la definición de proceso constructivo, este corresponde al conjunto de etapas que son necesarias para llevar a cabo un proyecto de construcción o remodelación en un plazo definido apegándose a un cronograma establecido. Es importante reconocer el proceso constructivo como el detonante del desarrollo de un proyecto, estos procesos son las actividades que terminarán por elegir o modificar lo que se propuso en un alcance inicial (Mojica, 2012).

1.3 Rendimiento

Un concepto que está presente en el desarrollo de esta investigación y que forma parte de sus principales objetivos es el de rendimiento. El rendimiento corresponde a aquella implementación del tiempo o resultado obtenido valores de productividad (en el caso del presente trabajo, productividad de la mano de obra en un proceso constructivo). Por lo tanto, se puede considerar como el valor estadístico fruto de un trabajo realizado y la implementación del tiempo en este (Buleje, E. 2012).

Cabe destacar que los rendimientos son datos que se obtienen y que corresponden a información histórica. Como tal esta se puede utilizar como base para comparar mediciones futuras y saber si un caso específico presenta un rendimiento más alto o bajo que la media medida con anterioridad (Rojas, 2014). En el contexto de la construcción se refiere a la eficiencia y producto de la productividad de los trabajadores en la realización de tareas y actividades constructivas.

Este es un indicador es de suma importancia en la construcción por varias razones entre las cuales destacan los siguientes puntos:

1. **Eficiencia en el uso de recursos:** Un alto rendimiento de la mano de obra implica que los trabajadores están aprovechando al máximo su tiempo y recursos disponibles. Esto ayuda a minimizar los costos generales del proyecto.
2. **Cumplimiento de plazos:** La construcción suele tener plazos ajustados, y un buen rendimiento de la mano de obra es fundamental para completar el proyecto dentro del tiempo establecido. Si los trabajadores son eficientes y productivos, se puede lograr un progreso constante y evitar retrasos costosos.
3. **Calidad del trabajo:** Un rendimiento óptimo de la mano de obra no solo implica velocidad, sino también calidad en la ejecución de las tareas. Los trabajadores eficientes pueden mantener altos estándares de calidad y minimizar errores o defectos en la construcción, lo que a su vez mejora la satisfacción del cliente y la reputación de la empresa constructora.
4. **Seguridad en el lugar de trabajo:** Un rendimiento adecuado de la mano de obra también está relacionado con la seguridad en la construcción. Los trabajadores eficientes suelen ser más conscientes de las prácticas de seguridad, lo que reduce la probabilidad de accidentes y lesiones en el lugar de trabajo.
5. **Rentabilidad del proyecto:** En última instancia, un buen rendimiento de la mano de obra contribuye a la rentabilidad general del proyecto. Al optimizar la productividad de los trabajadores, se pueden lograr mayores ganancias al reducir los costos laborales y acelerar la finalización del proyecto.

Finalmente, un aspecto a destacar sobre los rendimientos es que estos no solo dependen de los trabajadores individuales, sino también de factores como la gestión eficiente de un proyecto, la correcta planificación, la capacitación y el uso de tecnología y herramientas adecuadas. Todos estos aspectos influyen en distinta medida en el rendimiento que un proyecto de construcción le pueda sacar a su mano de obra.

1.4 Productividad

La Real Academia Española (RAE, 2005) define productividad como: “La relación entre lo producido y los medios empleados para dicho fin”. Estos medios pueden ser mano de obra, materiales o energía. Específicamente, en este ámbito la industria de la construcción se caracteriza por ser un área con bajo desempeño en cuanto a la productividad. En parte esto se debe a que la construcción es distinta a cualquier otra industria, en esta se presentan factores únicos que complican la eficiencia de los proyectos. Estos pueden ser aspectos climáticos (casos de lluvia o calores extremos), curva de aprendizaje limitada (mucha repetición de las tareas y poca posibilidad de aprender tareas nuevas), baja escolaridad de la mano de obra, salarios bajos, entre otras.

Por otra parte, la mano de obra comprende a las personas que trabajan en un proyecto constructivo, principalmente este término se refiere a los operarios y ayudantes que llevan a cabo las distintas actividades. Ellos deben ser vistos y valorados como personas que son, no deben explotarse como maquinaria o un recurso sin más. Según el chileno Serpell (2002), los trabajadores pueden, tanto aportar apoyo como necesidades al proceso constructivo. Cuando el personal es bien administrado este aporta habilidades, capacidades y motivación al proyecto constructivo, pero el ser humano requiere de atención a sus necesidades y deseos que la empresa debe satisfacer para que el trabajador esté motivado y produzca.

Cuando se trata el tema de la mano de obra en la construcción, se debe explicar que es una cuadrilla debido a que la mayor parte de los procesos constructivos se llevan a cabo por estas y no por trabajadores independientes. Una cuadrilla es un equipo de trabajo compuesto por operarios (quienes ejecutan las labores directamente) y ayudantes (quienes apoyan en las actividades). Esta combinación de personas con diferentes conocimientos y habilidades busca ejecutar las actividades en el menor tiempo posible y de la mejor forma, lo que evita retrabajos (Navas, 2012).

Por otra parte, la productividad específica de la mano de obra es la cantidad de avance realizado por los trabajadores respecto de los recursos que se ponen en su trabajo. Para la industria de la construcción es importante que la mano de obra sea lo más productiva posible debido a que esta define el ritmo de trabajo. En un proyecto constructivo por más que se empleen los mejores materiales o se tengan los mejores diseños,

si los trabajadores no son productivos o inducen a errores que desencadenan retrabajos constantes el proceso constructivo es lento y esto influye negativamente en la rentabilidad de un proyecto (Serpell, 2002).

Un proyecto constructivo gira en torno al tiempo. Por esto, la forma en la que este se invierte determina parte de su éxito. Serpell (2002) divide la inversión del tiempo en tres grupos fundamentales.

- El primero es el tiempo no productivo o no contributivo. Este corresponde a aquel uso del tiempo que no aporta de ninguna forma al avance de las actividades propuestas. El tiempo de ir al baño, cuando se habla o se descansa son ejemplos sobre cómo el tiempo se gasta sin beneficiar el avance del proyecto.
- Posteriormente, se puede hablar de tiempo contributivo. Este tipo de inversión del tiempo se caracteriza por ayudar al avance de las obras, sin estarlas realizando. Algunos ejemplos de este tipo de manejo del tiempo pueden ser el sostener una escalera para que otra persona haga un trabajo en altura, monitorear un izaje o un trabajo en altura, llevar una paleta para el transporte de materiales. El tiempo contributivo puede depender de los requerimientos de las distintas actividades que se realicen o de las solicitudes de un cliente en concreto. Hay tipos de construcciones que dependen más que otras de trabajos en alturas. Asimismo, en otros casos hay clientes que exigen a los contratistas monitores o paleteros en más actividades que otros.
- Finalmente, la última clasificación del tiempo por desarrollar es el tiempo productivo. Este tipo es en el que se desarrollan los procesos constructivos. Se refiere al tiempo de quien pinta, arma varilla o utiliza cualquier tipo de herramienta. Se busca que sea el tiempo predominante de los tres tipos, ya que es en el que se ejecutan las actividades constructivas.

1.5 Técnicas y herramientas para medición de productividad

La productividad se puede medir de diversas formas. Radolph Thomas en su publicación *Crew performance measurement via activity sampling*, explica tres distintas maneras de medir la productividad de los trabajadores en la construcción. Estas son *work sampling*, *group timing technique* y, finalmente, *five minutes rating*.

La técnica de *five minutes rating* indica que se debe medir el trabajo de una cuadrilla mediante la observación de esta durante el intervalo correspondiente al número de integrantes de la cuadrilla. Es importante considerar que la cantidad de tiempo para tomar una medición nunca debe ser inferior a 5 minutos. Después de que se realiza la observación correspondiente se clasifica la inversión del tiempo de los integrantes de la cuadrilla según corresponda.

Esta técnica permite obtener información de valor respecto al uso del tiempo en una cuadrilla de forma rápida. Además, esta da la posibilidad al observador de percatarse de los problemas más recientes en una cuadrilla de trabajo, a la vez que se mide el desempeño de esta.

Después de la toma de mediciones mediante la técnica de *five minutes rating* lo usual es procesar la información que se recopiló. Esto se hace mediante programas computacionales capaces de realizar el procesamiento estadístico de los datos recopilados. Una de las técnicas para representar la información que se puede utilizar son los gráficos como los de pastel. Este tipo de gráfico son representaciones donde cada porción se interpreta como: "La proporción que ocupa por su frecuencia dentro de un todo" (Rendón, 2016, s. p.). Un ejemplo de gráfico circular se muestra en la Figura 2 donde se presenta un gráfico circular con las distribuciones de tiempo usuales presentes en la construcción en Chile. Esta distribución puede servir como base para comparar los resultados mediante las mediciones en sitio para cada proyecto.

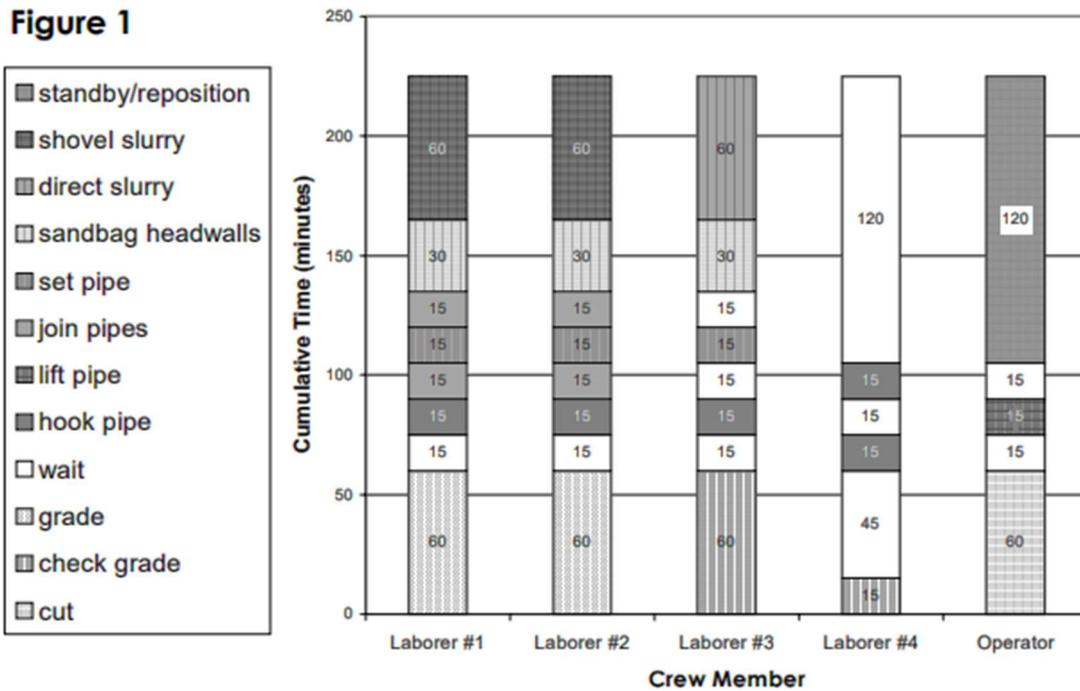
Figura 2: Rangos de porcentajes comunes de uso del tiempo en cuadrillas de trabajo de la construcción



Fuente: Serpell, 2002.

Otra técnica de análisis estadístico mediante representaciones gráficas es el método de *crew balance*. Esta es una herramienta que se utiliza en la industria de la construcción para graficar la inversión del tiempo de una cuadrilla, al medir el uso del tiempo de una sola persona en un periodo definido. En todos los casos las mediciones de productividad realizadas deben ser actividades constructivas cíclicas (Kuprenas, 2001). En la Figura 3 se muestra un gráfico de *crew balance* como ejemplo.

Figura 3: Ejemplo de gráfica de crew balance



Fuente: Kuprenas, 2001.

1.6 Análisis de brecha

Otra definición de importancia para el presente trabajo es el concepto de análisis de brecha. Este corresponde a un proceso que se utiliza para comparar el desempeño real de una empresa con su desempeño deseado. Para esto, se requiere de datos estadísticos suficientes para establecer relaciones y medir separaciones entre los resultados que serían beneficiosos para la compañía (en caso de darse) y los medidos en la realidad (Correa, 2013).

Capítulo 2: Metodología

2.1 Tipos de investigación

Existen diversas formas de llevar a cabo una investigación. Esto se debe a que según objetivo o el campo de estudio que se investigue se requieren distintas técnicas para obtener información y de desarrollo de los trabajos escritos que se generan. A continuación, se detallan tres tipos de investigación, donde se explica su funcionamiento y su relación con el presente trabajo final.

El primer tipo de investigación por desarrollar es el exploratorio. Esta tiene como principal característica el prestarse especialmente para investigar temas que son poco profundizados. Cuando en el momento de realizar una investigación es difícil dar con una hipótesis clara puede utilizarse este tipo. Los estudios exploratorios son valiosos en el momento de familiarizarse con fenómenos de los que no se tiene mucha información previa y donde se busca investigar problemas que se relacionan con el comportamiento humano que se consideren cruciales por profesionales de algún área específica (Zafra, 2006).

La importancia de este tipo de investigación para el desarrollo del presente trabajo es que este permite generar conocimiento con poca información inicial. De esta forma ocurre en el presente caso, donde no hay datos previos existentes de mediciones de productividad en la mano de obra de las cuadrillas de trabajo de la empresa Edica Ltda., por lo que se deben usar técnicas propuestas por este tipo de investigación para producir conocimiento.

Por otra parte, existe un tipo de investigación que se enfoca en la producción de datos descriptivos como gestos, hábitos o relaciones entre las personas. Este tipo de investigación es eficaz cuando se investigan fenómenos sociales complejos, estos claramente son difíciles de capturar de forma cuantitativa por lo que se recurre a esta técnica. La investigación cualitativa permite comprender fenómenos a partir de la mirada de grupos de personas que integran una relación de algún tipo (Cueto, 2020).

En cuanto al presente trabajo este tipo de investigación otorga valiosas herramientas que pueden utilizarse en el momento de trabajar con las personas de la construcción. Cuando se habla de productividad de la mano de obra de una construcción se habla intrínsecamente de personas comunes, con sus virtudes, pero también con sus necesidades. No se puede realizar una investigación que estudia un aspecto del comportamiento humano y solo ligar datos numéricos sin considerar el contexto de cada persona y, en este caso, de cada cuadrilla de trabajo.

Otro tipo de investigación al que se recurre en el presente trabajo es la de campo, en la cual el lugar donde se desarrolla la investigación presenta condiciones no controladas, porque estas dependen del área, zona y contexto donde se investiga. Este tipo de investigación se desarrolla en ambientes no controlados, caso contrario a las investigaciones de laboratorio, donde se controlan parámetros, tiempos y cantidades.

En el caso del presente trabajo, todo lo que se relaciona con la productividad de la mano de obra, al no haber mediciones históricas se realiza mediante investigación de campo, al estar en sitio y ver directamente a las cuadrillas realizar las actividades constructivas. Con esta información que se recopiló en campo se espera crear un precedente para comparar mediciones futuras. El trabajo en sitio busca intervenir lo menos posible el entorno para no modificar la forma de trabajar de las cuadrillas y no influir en los resultados de las mediciones. Por esto, no se pueden controlar factores como la cantidad de horas de trabajo, la cantidad de integrantes de una cuadrilla o las condiciones de trabajo de quienes realizan las actividades (Grajales, 2000).

2.2 Fuentes primarias y secundarias de información

Para iniciar con el listado y la clasificación de las fuentes de información del presente trabajo se debe explicar la teoría detrás de lo que son fuentes de información primaria y secundaria. Las fuentes de información primaria son aquellas que los datos provienen directamente de la muestra de la población en estudio. Esto quiere decir que los datos se toman de primera mano, sin un procesamiento externo.

Las fuentes primarias pueden, a la vez, subdividirse en observación directa o información indirecta. La observación directa es cuando los datos se toman directamente de la población sin necesidad de un agente externo o un tercero como cuestionarios, entrevistadores, entre otros. Por otro lado, las observaciones indirectas se realizan cuando los datos no los obtiene directamente la persona investigadora, sino que se requiere de un medio o agente que toma la información. Algunos ejemplos de observaciones indirectas pueden ser encuestas, formularios u otros elementos que se encuentran entre el investigador y la fuente de información (Torres, s. f.).

En cambio, las fuentes de información secundaria son aquellas que parten de datos preelaborados, como datos que se obtienen de revistas científicas, de Internet, de medios de comunicación colectiva, entre otros. Esta información se procesó previamente por otra u otras personas y se publicó de forma que llegara a manos del investigador quien la utiliza (Torres, s. f.).

2.2.1 Fuentes de información primaria

- Observaciones de campo de las cuadrillas de la división Scala de la empresa Edica Ltda.
- Respuestas y recomendaciones generadas a partir de preguntas realizadas directamente al gerente técnico de Scala por Edica. El ingeniero Marco Santos Espinoza.
- Respuestas y recomendaciones generadas a partir de preguntas realizadas directamente al maestro de obras del proyecto Resilia Cleanroom de Edwards Lifesciences. El maestro de Obras Olivier Salazar.
- Consultas realizadas y recomendaciones solicitadas directamente al profesor guía del presente proyecto de graduación. El profesor Manuel Antonio Alán Zúñiga.
- Mediciones realizadas en campo con base a una matriz de elaboración propia para la toma de mediciones de productividad.
- Representaciones estadísticas gráficas que se generan en programas computacionales a partir de los datos recopilados en sitio.

2.2.2 Fuentes de información secundaria

- Libro *Administración de Operaciones de construcción* de Alfredo Serpell.
- Diversas fuentes fiables de Internet obtenidas mediante la herramienta Google Académico.
- Diversas fuentes fiables obtenidas mediante los repositorios digitales de los cuales el Instituto Tecnológico de Costa Rica tiene licencia.
- Diversas tesis y trabajos finales de grado con los que otros estudiantes han optado por el grado de Licenciatura en Ingeniería Civil o Ingeniería en Construcción. Obtenidos de los repositorios correspondientes de las diferentes universidades, tanto en el ámbito nacional como internacional.

2.3 Sujetos de información

Un sujeto de información es otra forma de referirse a la muestra o población en estudio. En el presente caso los sujetos de información son los distintos trabajadores de las diferentes empresas que conviven en el proyecto de Cleanroom para Edwards Lifesciences. Cabe destacar que para no afectar los resultados de las mediciones y por la cantidad de trabajadores no es posible antes de iniciar la toma de datos preguntar el nombre a cada trabajador, por lo que se toma como sujetos de información a las diferentes cuadrillas de cada empresa que trabaja en el proyecto. En el Cuadro 1 se muestran los sujetos de información de los cuales se toman mediciones y la información que cada sujeto proporciona para el estudio (Gil, s. f.).

Cuadro 1: Sujetos de información e información por suministrar

Sujeto de información	Información por suministrar
Cuadrillas de trabajo de la división Scala de la empresa Edica Ltda.	Mediciones de productividad que se obtienen durante los procesos constructivos realizados.
Cuadrillas de trabajo de la empresa Novatec.	Mediciones de productividad que se obtienen durante el proceso constructivo de colocación de piso epóxico.
Cuadrillas de trabajo de la empresa Roswell Drywall.	Mediciones de productividad que se obtienen durante los procesos constructivos de colocación de sello de silicón en juntas.
Cuadrillas de trabajo de la empresa Accesos Automáticos.	Mediciones de productividad que se obtienen durante el proceso constructivo de colocación de puertas automáticas.
Daniel Moreno Pochet	Información esperada de clasificaciones del uso tiempo de la mano de obra de los distintos subcontratos del proyecto Edwards Lifesciences Cleanrooms.
Alejandro Chinchilla Loaiza	Información esperada de clasificaciones del uso tiempo de la mano de obra de los distintos subcontratos del proyecto Edwards Lifesciences Cleanrooms.
Olivier Salazar	Información esperada de clasificaciones del uso tiempo de la mano de obra de los distintos subcontratos del proyecto Edwards Lifesciences Cleanrooms.

Es importante mencionar que la selección del tamaño de la muestra depende de diversos factores como el tamaño de las cuadrillas, la disponibilidad de procesos constructivos para medir en determinado momento y la cantidad de horas que en el proyecto se le dedica a cada proceso. Por esto, no es posible determinar el tamaño exacto de la muestra.

2.4 Herramientas y técnicas para la recopilación y análisis de datos e información

A lo largo de una investigación se deben utilizar múltiples herramientas que permitan recopilar la información del tema en estudio y también deben utilizarse herramientas para procesamiento de los datos recolectados.

Con esto se busca generar conocimiento y datos nuevos que permitan llevar a conclusiones fundamentadas al final de la investigación. En la siguiente lista se detallan las principales técnicas e instrumentos que se utilizan para elaborar el presente trabajo.

2.4.1 Herramientas que se utilizan para recopilar información

- Ficha bibliográfica: Se recopila información de diferentes fuentes confiables como tesis realizadas, revistas científicas, libros, entre otras fuentes de fiar.
- Observación de campo: Se toman mediciones de productividad de las diferentes cuadrillas mientras llevan a cabo distintos procesos constructivos.
- Matrices de medición de productividad de la mano de obra: Las mediciones llevadas a cabo en campo se recopilan en matrices creadas específicamente para la división Scala de Edica Ltda. como parte del alcance del trabajo realizado.
- Software: Se transcriben las mediciones recopiladas a las tablas de autoría propia en un *software* para almacenar y procesar posteriormente la información estadística.
- Preguntas realizadas presencialmente en campo a profesionales del proyecto Edwards Lifesciences: Durante la realización del trabajo surgen dudas que se consultan y aclaran con profesores universitarios o profesionales de la construcción. Estas consultas surgen a medida que se toman las mediciones y son parte del trabajo en campo realizado.

2.4.1.1 Desarrollo de los instrumentos

En este apartado se presenta el Cuadro 2, el cual contiene un cuadro pensado en las necesidades observadas en el proyecto Cleanroom de Edward Lifesciences. El proyecto se encuentra en desarrollo por la empresa Scala por Edica, por lo que muchas de las propuestas en este formulario pueden variar según el contexto del proyecto que se dé, ejemplo de esto puede ser aumentar la cantidad de horas de medición por formulario o variar el contenido del desglose de usos de tiempos. Esto es posible, ya que la matriz creada en el programa Microsoft Excel® está programada de forma que realiza los cálculos y genera los gráficos de manera automática al incorporar las mediciones y es totalmente editable. Pese a lo anterior, se busca dejar un estándar que con pequeñas o nulas variaciones pueda ser de provecho para la compañía en el momento de tomar mediciones de productividad de las cuadrillas de trabajo.

Cuadro 2. Matriz de medición de productividad de la mano de obra para Scala por Edica

Detalle del proceso:		XXX												Portada	Notas
Intervalos de 5 minutos	Trabajo productivo	Trabajo contributivo							Trabajo no productivo					Notas	
		Apoyo	Instrucción	Medición	Supervisión	Trazo	Transporte -10 m	Transporte +10 m	Ausente	Descanso	Esperas	Retrabajo	Ocioso		
0															
5															
10															
15															
Fecha: XX/XX/XX.															
Condición: XXX. Hora: XXX pm/am															
20															
25															
30															
35															
40															
45															
50															
55															
60															
65															
70															
75															
Fecha: XX/XX/XX.															
Condición: XXX. Hora: XX pm/am															
80															
85															
90															
95															
100															
105															
110															
115															
120															
TOTALES	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
NOTAS: XXX															

Simbología	
X	XXX

2.4.2 Herramientas que se utilizan para analizar la información

- Gráficos de pastel: contienen los porcentajes de tiempos productivos, contributivos y no productivos que se obtienen a partir de las mediciones en sitio.
- Gráficos de columnas: Comparan de forma visual la distribución de tiempos productivos, contributivos y no productivos.
- Cálculos de probabilidad y estadística: Estos se utilizan para generar porcentajes de la distribución de usos de los tiempos.
- Software: el programa Microsoft Excel® ayuda en el procesamiento de los datos probabilísticos y la generación automatizada de gráficos.
- Tablas: Se tiene un conjunto de tablas para la toma de mediciones de productividad, las cuales permiten recopilar la información de interés de forma ordenada.

2.4.2.1 Descripción del proceso de análisis

En la presente sección se detallan los productos esperados para cada objetivo específico, así como los métodos de análisis necesarios para conseguir cada producto. De igual forma, se detalla cómo los distintos productos aportan para lograr cada objetivo específico.

- Realizar el análisis actual de medición y análisis del trabajo operativo de la mano de obra en distintos procesos constructivos de Scala para la identificación de las oportunidades de mejora.
 1. Una lista y justificación de las actividades que se seleccionaron para medir la productividad de la mano de obra: este producto puede desarrollarse mediante la observación y el análisis del contexto de la construcción donde se desarrolla el trabajo. A la vez, este producto es necesario para conseguir el objetivo en el sentido de que para analizar los resultados de productividad se debe tener mapeado en qué procesos se enfocarán estas mediciones.
 2. Una base de datos con los resultados de las mediciones de productividad de la mano de obra realizadas en campo, para las distintas actividades que se seleccionaron: Se pretende que las mediciones de campo permitan generar una gran cantidad de información que pueda analizarse en conjunto. Esta información debe recopilarse y almacenarse en las tablas creadas para este fin. Este producto aporta al desarrollo del objetivo de forma que con la base de datos presentada se desarrolla el análisis posterior estadístico.
 3. Análisis explicativo, en prosa y en profundidad de los resultados que se obtienen durante las mediciones realizadas y procesados mediante herramientas computacionales: Con herramientas computacionales se hacen los análisis estadísticos y se generan los gráficos necesarios para el análisis explicativo que permita comprender los resultados de las mediciones de productividad de la mano de obra.

- Desarrollar el análisis de la productividad de la mano de obra en distintas actividades constructivas de Scala para establecer su impacto en el trabajo operativo de la mano de obra.
 1. Estado del arte con la información de utilidad para la medición, almacenamiento, análisis y control de la productividad en distintos procesos constructivos, así como su impacto en el costo de la construcción: Se realiza un estudio en profundidad de distintas fuentes como libros o publicaciones universitarias, para generar una base de conocimientos sobre cómo medir correctamente la productividad de la mano de obra de una construcción. Con esto se establecen los fundamentos para proponer un método de análisis de productividad.
 2. Análisis en profundidad de la información disponible que puede ser de utilidad para la práctica y cómo esta se emplea para desarrollar los objetivos que se plantearon: Se realiza una lectura detallada de la información disponible y se extrae la más relevante. Se pretende que esto limite la información que se recopiló para determinar la mejor forma de medir la productividad de las cuadrillas en actividades constructivas.
 3. Un procedimiento para el análisis de la productividad de la mano de obra en distintas actividades constructivas: Se redacta un procedimiento detallado para la medición de la productividad de la mano de obra para Scala por Edica que busca funcionar como base para futuras mediciones de productividad en otros proyectos de la empresa.

- Elaborar una herramienta en el programa Microsoft Excel® como parte del proceso de medición y análisis para el procesamiento estadístico de la información y clasificación del trabajo operativo como productivo, contributivo y no productivo.
 1. Tablas de medición de productividad de la mano de obra para los distintos procesos constructivos de la construcción estudiada. Esta debe separar los tiempos de mediciones en productivo, contributivo y no productivo: este producto se genera a partir de fuentes fiables de información y el análisis de temas vistos en cursos universitarios como el de diseño de procesos constructivos. Las tablas están ligadas al objetivo, ya que en ellas se recopila la información que después se utiliza para generar los gráficos automáticos.
 2. Gráficos de columnas, de *crew balance* y de pastel que se generan en el programa Microsoft Excel® para procesar los datos que se obtienen en las mediciones de campo: Los gráficos se programan en herramientas digitales para que cuando se introduzcan los datos a las tablas estos generen los

resultados automáticamente. Este producto es el principal para lograr el objetivo específico, ya que estos componen el fin de la programación realizada.

- Elaborar análisis de brechas entre los resultados y los procedimientos por los métodos tradicionales y propuestos para la validación de las soluciones implementadas.
 1. Lista con los resultados de las clasificaciones del tiempo esperados para cada actividad constructiva medida: Se busca una base para tomar como referencia y contrastar los resultados de la productividad medida. Este es el punto inicial para el desarrollo del análisis de brecha.
 2. Cuadros comparativos entre los resultados y los deseados para determinar una brecha con claridad: Se generan cuadros donde se contrasten los resultados con los esperados. Esto permite analizar la brecha con mayor facilidad y cumplir con el objetivo.
 3. Un plan de acción que incluya soluciones claras y aplicables para optimizar los procesos constructivos de Scala en próximos proyectos: Se genera con base en los resultados un plan de acción que permita mejorar las situaciones que se dan y afectan negativamente al plazo de los proyectos y, por lo tanto, al costo de estos. Este producto busca cumplir el objetivo y dejarle a Scala por Edica una herramienta que pueda mejorar la eficiencia de futuros proyectos.

Capítulo 3: Resultados

El presente capítulo tiene como objetivo presentar los resultados en el desarrollo de los objetivos específicos que se plantearon al inicio. A través de este capítulo se muestra el desarrollo de cada uno de los objetivos específicos, detallando los procesos, métodos y técnicas que se utilizan en la recolección, análisis e interpretación de los datos.

El primer objetivo específico de la investigación consiste en identificar el estado actual del almacenamiento de resultados de productividad de la mano de obra en Scala, así como las técnicas de medición de productividad. Para el desarrollo del objetivo se hacen revisiones en los formatos de uso interno de la empresa, así como la consulta directa a ingenieros experimentados de la compañía.

El segundo objetivo específico se enfocó en desarrollar un procedimiento práctico para que los ingenieros y asistentes de ingeniería de la empresa puedan medir con eficacia la productividad de sus recursos de mano de obra. Esto tiene el fin de que se pueda almacenar información para analizarla estadísticamente y almacenar los resultados de productividad obtenidos. A medida que se desarrollen mediciones de productividad se logra tener más información recopilada con lo cual los datos son más certeros.

El tercer objetivo específico se centró en programar en el *software* Microsoft Excel® (programa muy utilizado por la empresa) una herramienta que permitiera analizar de forma estadística las mediciones de productividad recopiladas en el objetivo específico n.º 2. La información procesada en gráficos visualmente atractivos puede interpretarse y almacenarse como información de los subcontratos y de la mano de obra. Estos para buscar opciones de mejora.

Finalmente, el cuarto objetivo específico consiste en analizar brecha con el fin de determinar las diferencias entre la productividad esperada y la productividad medida por la empresa. Esta brecha determina la necesidad de planes de acción para mejorar los resultados y optimizar el uso del tiempo en los procesos constructivos de la compañía.

En resumen, a través de este capítulo se presenta el desarrollo de cada uno de los objetivos específicos de la investigación, lo que permite dar cuenta de los avances realizados en el logro del objetivo general de esta.

3.1 Análisis actual del uso del tiempo de la mano de obra en distintos procesos constructivos

En el presente apartado del trabajo final de graduación se realiza un recuento de las herramientas que utiliza Scala por Edica Ltda. para medir la productividad de la mano de obra en los proyectos constructivos que desarrolla. Además, se detallan las fuentes de información que se utilizan como base para estimar la productividad de los trabajadores. Esto permite obtener un panorama claro del estado presente, de la forma en la que Scala conoce la eficacia del tiempo de los trabajadores en campo, información útil en el momento de programar cronogramas o de coordinar tareas en campo.

El objetivo específico al que corresponde la presente sección es el de *Realizar el análisis actual de medición y análisis del trabajo operativo de la mano de obra en distintos procesos constructivos de Scala para la identificación de las oportunidades de mejora*. Este consiste en identificar el estado actual del

almacenamiento de mediciones de productividad de la mano de obra en Scala, así como las técnicas de medición de productividad, con el fin de sentar bases para comparar (en el Capítulo 4) el estado actual de la medición de productividad, contra la medición implementando las herramientas y técnicas que se proponen en el presente trabajo.

3.1.1 Contexto actual de la medición de productividad en Scala

Tras preguntas realizadas al guía por parte de Edica, el ingeniero y gerente técnico de Scala Marco Antonio Santos Espinoza, se da visibilidad a que en Scala no hay una base de datos existente con mediciones de los usos de tiempo de la mano de obra, por lo que en el momento de consultar valores de productividad de la mano de obra o de comparar el trabajo de las cuadrillas de un proyecto en específico con los datos históricos no se puede realizar mediante el almacenamiento interno de la información que hace la compañía.

Este manejo de la información y documentación de los proyectos realizados por la empresa se hace mediante el programa One Drive, perteneciente a la compañía Microsoft. En el One Drive de la institución existe una serie de carpetas en las cuales se incorpora información de la compañía. Estas se subdividen entre áreas administrativas y de ejecución de los proyectos. Se puede encontrar información como documentos de entrega de proyecto, cronograma de proyecto, presentaciones de entrega de proyecto, entre otros. De igual forma, en estas carpetas se almacena información de estandarizaciones, proformas, formularios y formatos de procedimientos internos de la empresa. En estas carpetas es que se puede adaptar el formato de mediciones de productividad de la mano de obra y la herramienta programada en Microsoft Excel® con los análisis estadísticos y la generación automática de gráficos amigables con la persona usuaria.

En la actualidad, cuando se requiere conocer cuánto tiempo se debe tomar para distintas tareas y para calcular cuánta tolerancia se debe tener en el tiempo de realización de las tareas, se suele utilizar como fuente la formulación de preguntas a profesionales conocidos especializados en el tema (muchas veces estos son los mismos profesionales encargados de los subcontratos). Estos profesionales llevan años supervisando y para gestionar procesos similares a los que se ocupa información, por esto, se puede tomar como fiable esta consulta a expertos en diferentes materias. Cabe destacar que los datos recolectados por este medio siempre son subjetivos debido al factor de la percepción humana respecto al tema.

Cabe destacar que el criterio y la experiencia del profesional que supervisará el proceso específico siempre tomará un papel importante en las decisiones y el ámbito del aprovechamiento del tiempo no es la excepción. Hay profesionales más permisivos que otros con la pérdida de tiempo en la ejecución de procesos constructivos. En Scala se sigue utilizando como fuente de información el criterio personal, la experiencia y el conocimiento de los procesos constructivos por parte de los ingenieros de proyecto y de los gerentes ligados al proyecto. Entre ellos se revisan los tiempos y para definir la duración de las tareas en el cronograma se toma en cuenta que no la totalidad del tiempo de trabajo es efectivo debido a la multitud de factores que pueden afectar la productividad de los procesos. Los ingenieros y maestros de obras saben que factores como el ocio, descanso, acarreo de materiales y herramientas o idas al baño son factores que pueden determinar si un proceso constructivo se concluye en la fecha pautada o no.

Asimismo, cuando en la empresa se requiere conocer la productividad de las cuadrillas para ajustar fechas de finalización de actividades constructivas se suelen utilizar cálculos rápidos tomados en campo que den una idea del comportamiento del avance del proceso. Esta información es poco confiable a veces por la poca cantidad de mediciones tomadas y porque la forma en la que se ejecuta la toma de mediciones no siempre es la mejor. Sin una guía para la medición de productividad hay cabida a que cada profesional lo mida de la manera en la que considera más oportuno, por lo que pueden variar los resultados entre los distintos métodos implementados para la toma de mediciones.

Lo que se busca en el presente trabajo es dejar información explicada y fundamentada que pueda funcionar como rápida fuente de consulta para futuros procesos en los que se tenga duda en el momento de programar en un cronograma. De igual manera, al conocer el tiempo efectivo de la mano de obra se pueden emplear acciones correctivas que puedan ser necesarias o de utilidad para mejorar el aprovechamiento del

tiempo de la mano de obra de la empresa. Esta información en forma de base de datos puede ampliarse con datos de otros proyectos que complementen y cada vez alimenten la base de datos volviéndola más veraz. Cuantas más mediciones de distintos proyectos se tengan con el tiempo se puede conocer con mayor certeza la eficacia del tiempo de la mano de obra, lo que agiliza y que da mayor probabilidad de éxito en tomas de decisiones respecto a las actividades y procesos constructivos.

3.1.2 Resultados de clasificación del tiempo de la mano de obra por el método actual

3.1.3.1 Contexto de los procesos constructivos del proyecto

Tras determinar cómo se recolecta la información sobre productividad en la empresa actualmente se busca la información clara que dé paso a discusión. Es importante constatar que los procesos constructivos en un proyecto están ligados a las actividades que se desarrollan en el avance de un proyecto, es decir, se pueden medir distintos procesos constructivos en distintas etapas de una construcción. Además, según el tipo de proyecto constructivo los procesos que se desarrollen pueden variar, así como puede variar la cantidad de horas que se le deben dedicar a un proceso de acuerdo con la magnitud y la complejidad de un proyecto en específico.

En el caso del presente proyecto de grado se miden la productividad de la mano de obra en el proyecto Edwards Lifesciences de Scala, el cual consiste en una serie de cuartos limpios ISO 6 y en otro conjunto de cuarto que corresponden a un proceso de Resilia, patentado por Edwards Lifesciences que se basa en la mezcla de una serie de químicos a través de tanques y tuberías de acero inoxidable desplazados con aire comprimido. Dadas las características del proyecto se entiende que hay una parte del alcance que corresponde a trabajos electromecánicos.

A continuación, se detalla un conjunto de actividades que componen los principales frentes de trabajo en el proyecto. Una parte importante de los procesos constructivos desarrollados se relaciona con el sistema de manejo de aire acondicionado. Esto lleva instalación de manejadoras, ductería, filtros HEPA, entre otras actividades. Otra parte de las tareas se basa en instalaciones eléctricas y de supresión de incendios, mediante canalización, instalación de salidas de corriente y de datos, cableado y otras actividades. De igual forma, el alcance de ingeniería de procesos corresponde a una de las principales actividades, principalmente de soldadura de acero inoxidable para unir los tubos que permiten el trasiego de los químicos en el cuarto junto con la instalación de su aislamiento. Por último, los acabados que corren por cuenta del personal de Scala implican trabajo de pintura en paneles metálicos de cuarto limpio, trabajos en *gypsum* como armado y empastado y pintura.

Con los principales frentes de trabajo determinados se procede a delimitar las actividades de las cuales es de interés conocer el uso del tiempo. Cabe destacar que estas actividades deben relacionarse a la carrera de Ingeniería en Construcción, por lo que no se toman actividades electromecánicas. Esto limita el rango de actividades por medir, puesto que la mayor parte del alcance del proyecto es electromecánico. De igual forma, a la fecha de iniciar el proyecto de grado ya los trabajos de colado de concreto, armado de *gypsum* y armado de paneles de cuarto limpio estaban finalizados, por lo que las horas para medir cada proceso se reducen. Estas condiciones son propias de la construcción, variables y que requieren de un alto grado de adaptabilidad, puesto que el presente proyecto es un trabajo de campo requiere la adaptación al entorno en cuanto al manejo de las actividades.

Los procesos constructivos seleccionados para medir son: Trabajos de pintura, colocación de silicón en juntas, instalación de puertas, perforaciones en paneles de cuarto limpio y aplicación del piso epóxico. La razón de escogencia de estos procesos constructivos se basó en los siguientes factores:

1. **Cantidad de horas a medir:** Para que las mediciones sean realistas debe ser posible medir más de una hora un proceso constructivo en específico, por lo que la realización de este proceso debe concordar con el horario en que se está en el proyecto y debe ser un proceso extenso para tomar mediciones en días distintos y a operarios diferentes.
2. **Ser un proceso constructivo y no electromecánico:** Esto debido a que el trabajo final de graduación es para optar por el grado de Licenciatura en Ingeniería en Construcción por lo que los procesos deben ir en la línea de dicha disciplina.
3. **Ser un proceso representativo para Scala:** Los procesos elegidos deben ser una base para futuras mediciones, debido a esto se deben elegir procesos constructivos que Scala repita con frecuencia en sus proyectos.

3.1.3.2 Trabajos de pintura

Estos procesos son visibles principalmente en los paneles de cuarto limpio que para el caso del proyecto constructivo en desarrollo son de marca CRDB y se componen de una espuma de alta densidad entre dos láminas metálicas pintadas al horno de color blanco. En la Figura 4 se presenta una fotografía de la composición de los paneles de cuarto limpio presentes en el proyecto. Estos paneles respecto a los trabajos de pintura presentan la dificultad de ser susceptibles a rayones en el proceso de instalación y perforación, por lo que todos estos rayones deben corregirse después con pintura fabricada a medida (para que sea exactamente el tono necesario) y debe lijarse hasta obtener una textura totalmente lisa (debido a que no puede almacenar polvo por tratarse de un cuarto limpio).

Figura 4: Fotografía que muestra la composición de los paneles de cuarto limpio marca CRDB



De igual forma, los trabajos de pintura se desarrollan en otros cuartos, los cuales son de material de *gypsum*. Este material es más sencillo de trabajar, pero en los cuartos de este material hay zonas de difícil acceso por estar en un cuarto con gran cantidad de tubería de acero inoxidable que corresponde a un proceso de mezcla de químicos.

En el proyecto los procesos de pintura corresponden a cuadrillas de la empresa Scala (SC). Esta cuenta con gran experiencia en trabajos para industria médica, además, se enfoca en acabados y atención al detalle. Tras la consulta al personal del proyecto, específicamente a los dos ingenieros residentes y al maestro de obras del proyecto, se logra llegar a la conclusión de que los distintos usos de tiempo esperados para este proceso deben rondar lo que se muestra en la Figura 8.

Es importante destacar que los resultados de las consultas a los distintos profesionales del proyecto se promedian para obtener los resultados que se muestran en el gráfico. Este promedio se calcula tomando los porcentajes indicados por cada profesional, sumándolos entre sí y se dividiéndolos entre tres para dar con el porcentaje de productividad promedio y así evitar sesgos en los resultados y hacerlos lo más apegados a la realidad posibles. Lo anterior se calcula para el proceso constructivo de trabajos de pintura, esto a modo de muestra y en los siguientes procesos se presenta solamente la gráfica de los resultados.

En la Figura 5 se muestra la distribución de tiempo en productivo, no productivo y contributivo de los operarios que realizan el proceso constructivo de *trabajos de pintura*, proporcionada por el ingeniero Alejandro Chinchilla Loaiza. Estos datos los brindó con base en su experiencia en proyectos de construcción y en la observación que ha realizado de las cuadrillas de trabajo del proyecto de cuartos limpios para Edwards Lifesciences. Posteriormente, se muestra la figura 6 la misma distribución, pero proporcionada con base en la experiencia y observación de las cuadrillas del proyecto por el maestro de obras Olivier Salazar. Por último, en la Figura 7 se evidencia la distribución de tiempos con base en la observación y a la experiencia del ingeniero residente del proyecto, Daniel Moreno Pochet.

Figura 5: Clasificación del uso del tiempo de operarios esperada para "trabajos de pintura", por el ingeniero Alejandro Chinchilla

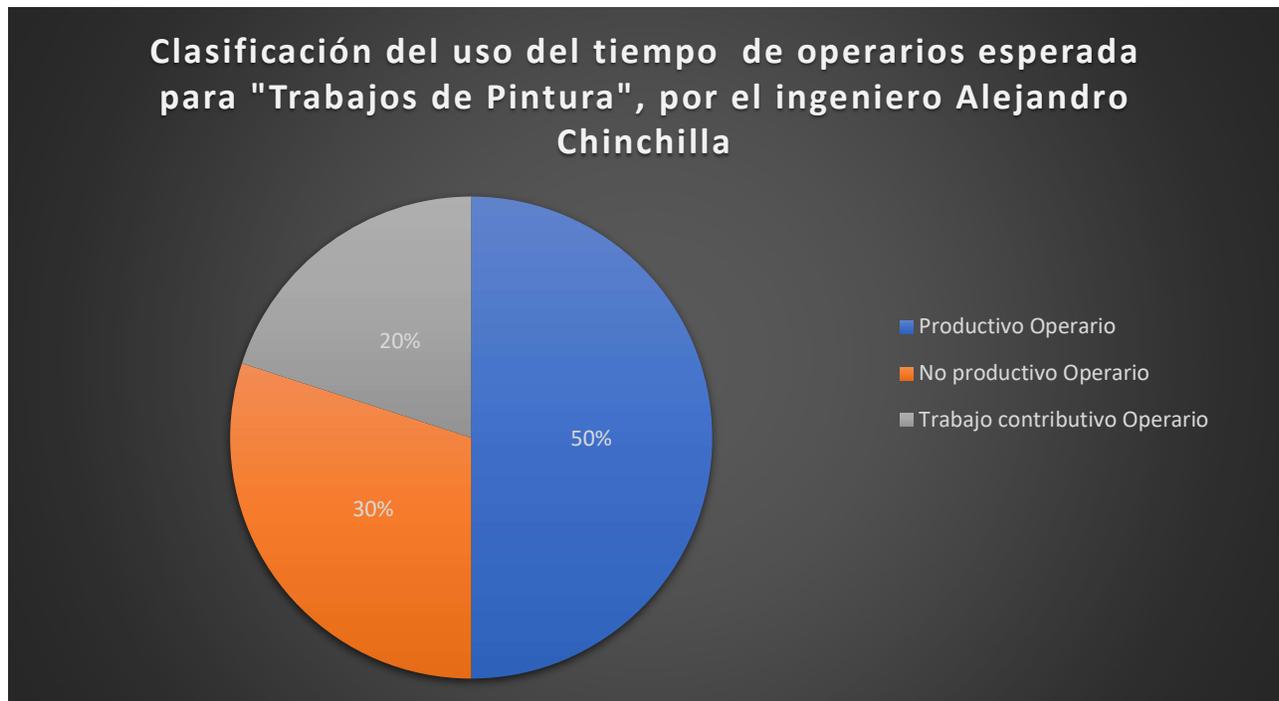


Figura 6: Clasificación del uso del tiempo de operarios esperada para "trabajos de pintura", por el maestro de obras Olivier Salazar

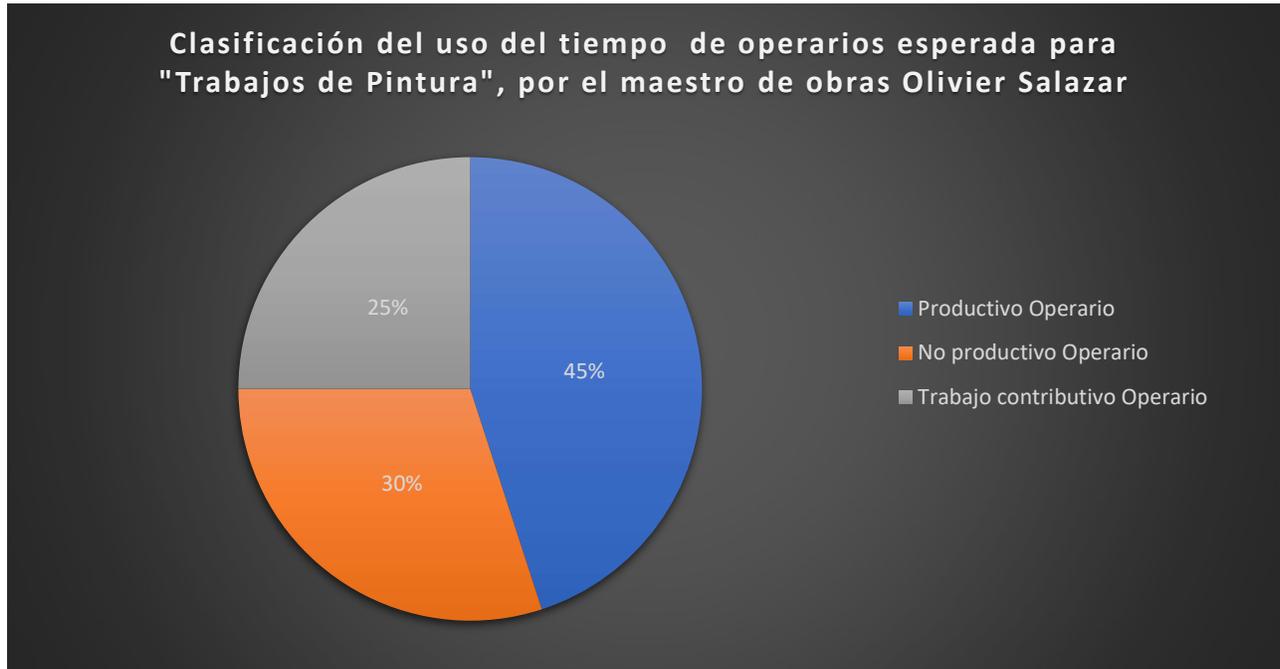
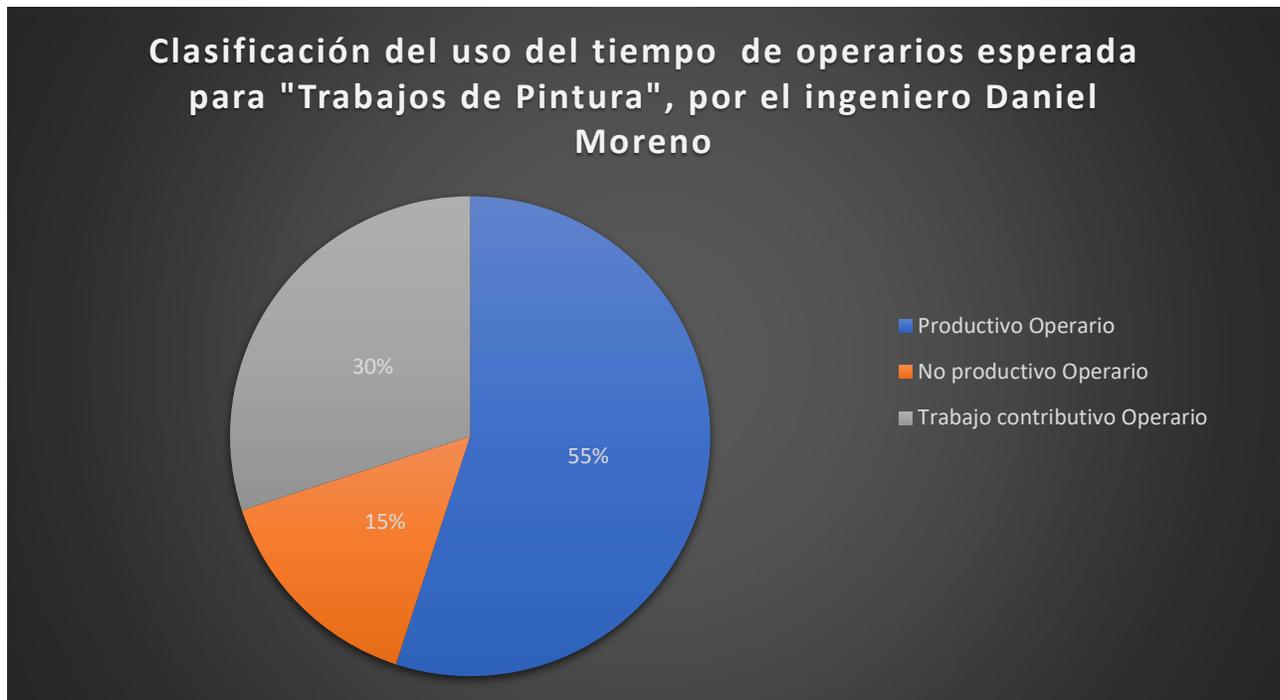
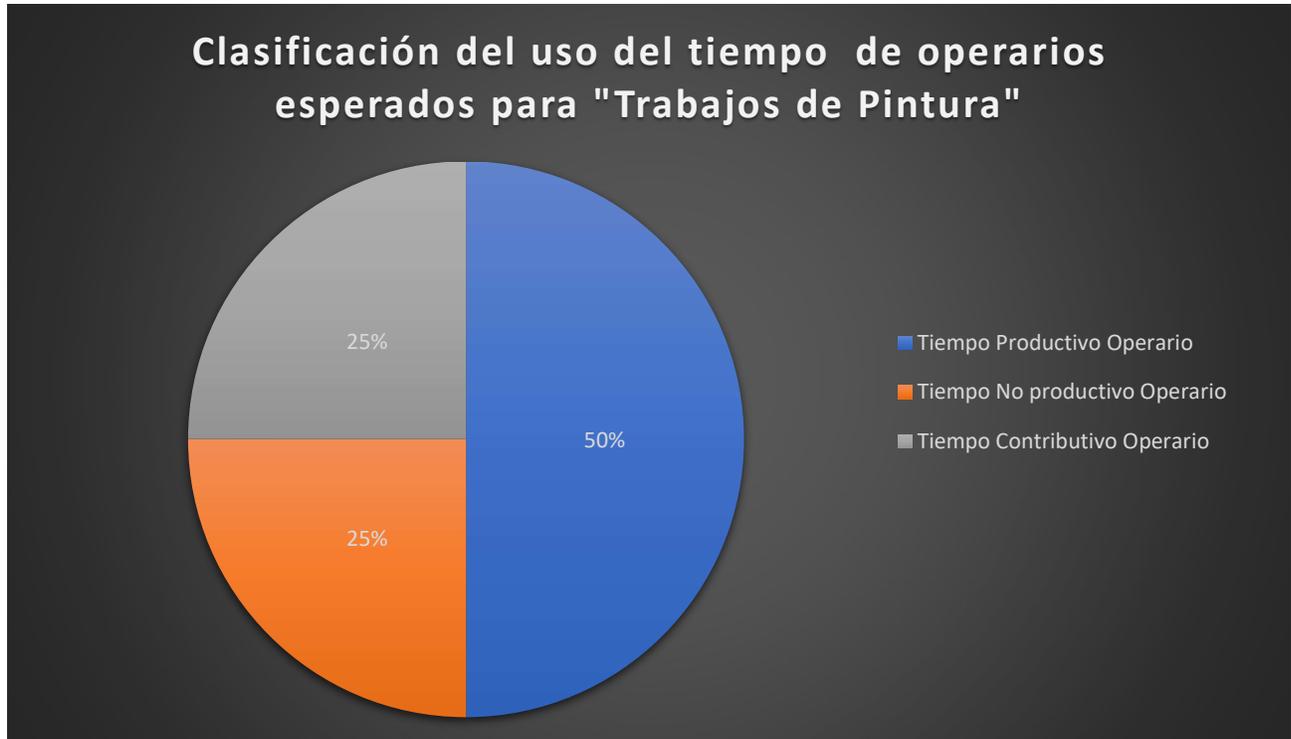


Figura 7: Clasificación del uso del tiempo de operarios esperada para "trabajos de pintura", por el ingeniero Daniel Moreno



Una vez que se tienen los resultados con base en la experiencia del personal del proyecto se procede a reducir el sesgo en los resultados al promediar los tres resultados de porcentajes para el tiempo productivo (sumando los tres resultados y dividiendo entre tres), de igual forma se realiza para el tiempo no productivo y, finalmente, se hace para el tiempo contributivo. Con esto se obtienen porcentajes promediados que entre los tres suman 100 % y representan de una manera realista la productividad esperada en el proyecto por el personal encargado del mismo. Los resultados promediados se muestran en la Figura 8. Los Usos del tiempo obtenidos mediante el método tradicional para este proceso constructivo son de 50 % de tiempo productivo, 25 % de tiempo contributivo y 25 % de tiempo no productivo.

Figura 8: Clasificación del uso del tiempo de operarios esperados para "trabajos de pintura"



3.1.3.3 Colocación de silicón en juntas

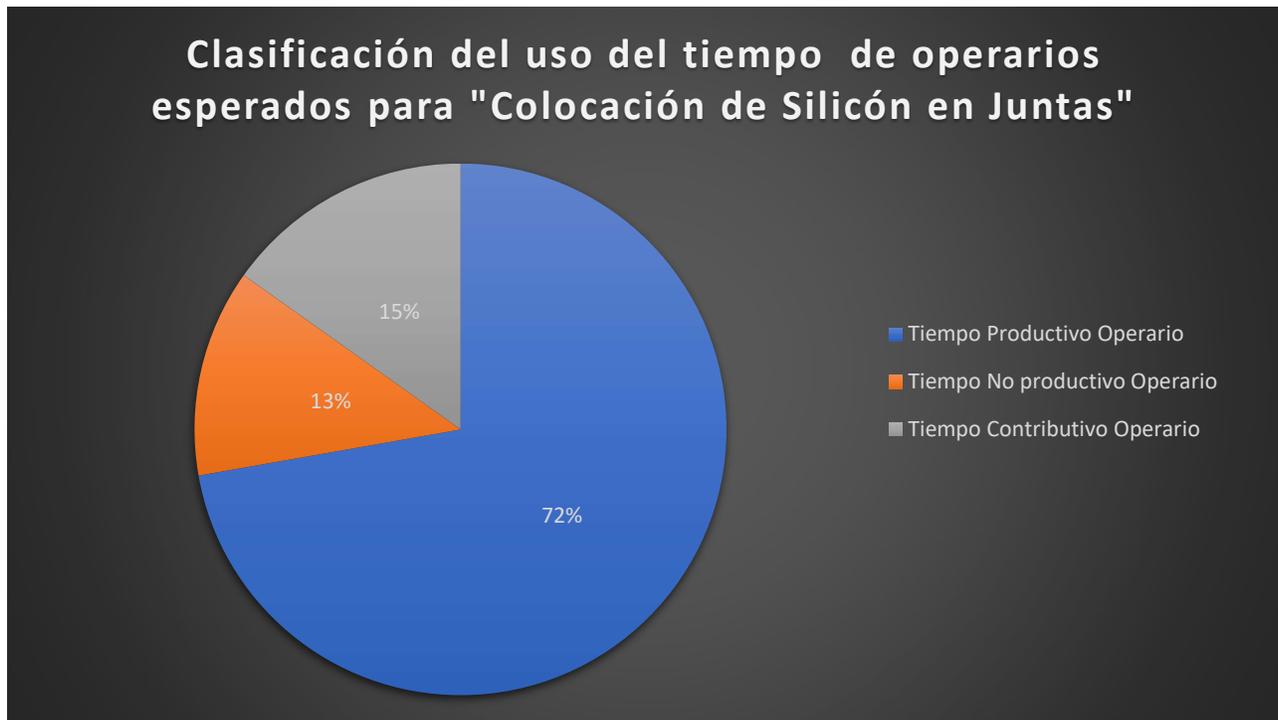
Este proceso constructivo es de especial importancia en el proyecto de Edward Lifesciences debido a que los cuartos limpios requieren de un nivel de detalle tan alto que no pueden existir ranuras, grietas ni aperturas que por más pequeñas que sean puedan dar pie a que se almacene polvo, suciedad o bacterias. La forma más sencilla y barata de subsanar estos espacios es mediante la aplicación de un silicón antihongos de color blanco recomendado por el fabricante de los paneles CRDB para que dé el mismo tono que la pintura de los paneles, además, haya garantía de que no se vaya a poner amarillento. En la Figura 9 se muestra el silicón que se utiliza en el proceso constructivo medido.

Figura 9: Silicón que se utiliza y cuartos limpios para sellar juntas y evitar acumulación de polvo



La aplicación de este silicón en el proyecto la realiza la misma que montó los paneles prefabricados, esta fue la empresa Roswell Drywall (RD). Esta es una compañía que se enfoca en dos líneas principales, la primera es la de trabajo en *gypsum* y materiales livianos y lo otro en lo que se enfocan es en el montaje de paneles prefabricados de cuarto limpio. Estos montajes son como un lego que se van poniendo unos junto con los otros y prensándose por la misma geometría de los paneles (conocido coloquialmente como embones machos y hembras). Esta empresa al encargarse del montaje de los paneles se le incluyó en su contrato la aplicación del silicón en juntas. Este trabajo se caracteriza por ser delicado y lento debido a la gran cantidad de juntas que se deben sellar, a la incomodidad de acceder a diversos sitios, a la necesidad de trabajar subidos en una escalera para llegar a las juntas del cielo del cuarto y, principalmente, por el acabado estético imperceptible que debe lograrse. En la Figura 10 se muestran resultados que se esperan de productividad de las cuadrillas de la empresa Roswell Drywall, que se obtienen mediante consulta a los profesionales del proyecto y promediados como se explicó para el caso del proceso de colocación de silicón en juntas. Los valores obtenidos mediante el método tradicional para este proceso constructivo son de 72 % de tiempo productivo, 15 % de tiempo contributivo y 13 % de tiempo no productivo.

Figura 10: Clasificación del uso del tiempo de operarios esperados para “colocación de silicón en juntas”



3.1.3.4 Instalación de puertas

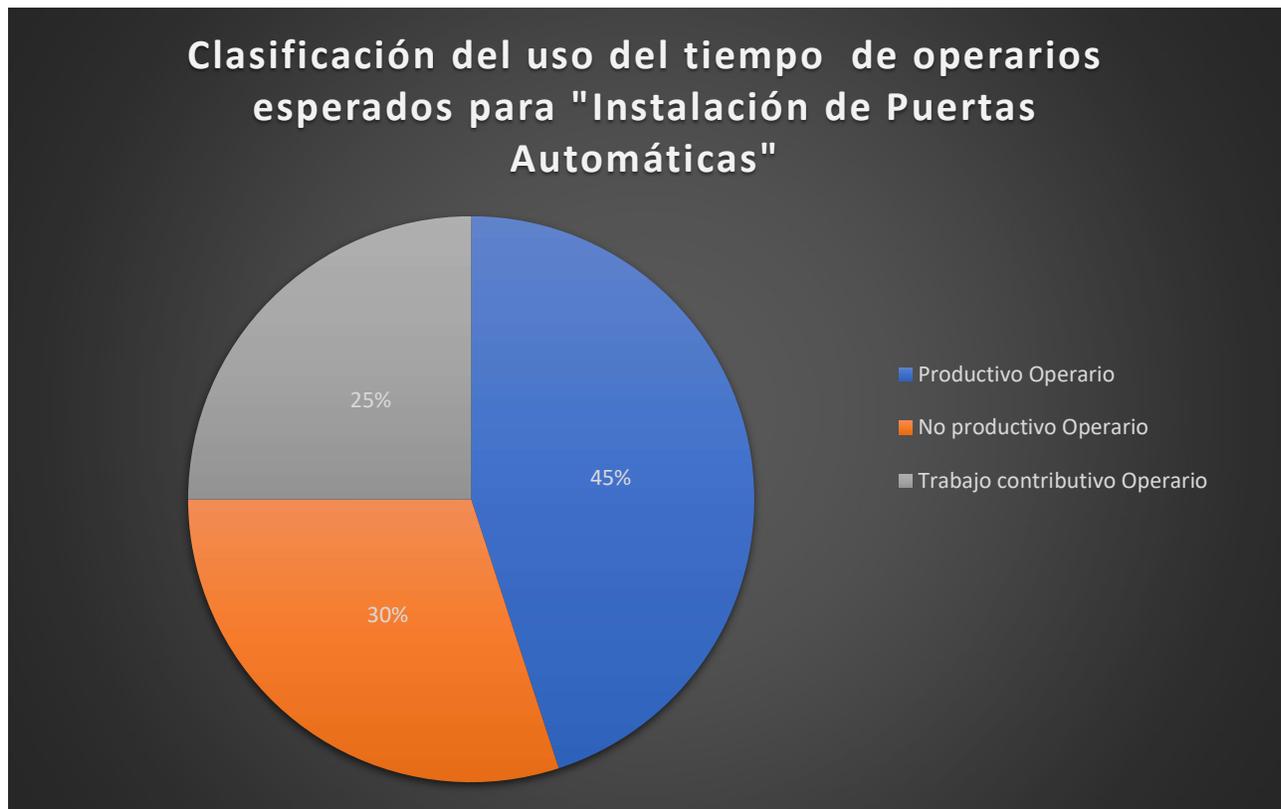
Este proceso constructivo lo lleva a cabo la empresa Accesos Automáticos (AA). Esta es una compañía líder en el ámbito nacional en instalación de puertas, barreras y todo tipo de accesos controlados por sensores o controladores distantes. En el caso del proyecto de Edwards Lifesciences se encargan de instalar múltiples puertas corredizas para cuartos limpios (cierran herméticamente impidiendo que el cuarto limpio se despresurice), además, instalan una serie de barreras de flotabilidad para cuartos químicos que en caso de derrame flotan y evitan que químicos peligrosos salgan del cuarto. En la Figura 11 se muestra una fotografía de una de las puertas corredizas instaladas en el proyecto.

Figura 11: Puerta automática de la empresa Accesos Automáticos instalada en cuarto limpio



Cabe destacar que las mediciones de productividad del presente trabajo para este proceso constructivo se centran en la instalación física de las puertas, no en la programación ni en aspectos electromecánicos de estas. En la Figura 12 se muestran los resultados promediados de la productividad que se esperan de las cuadrillas de la empresa Accesos Automáticos. Los valores obtenidos mediante el método tradicional para este proceso constructivo son de 45 % de tiempo productivo, 25 % de tiempo contributivo y 30 % de tiempo no productivo.

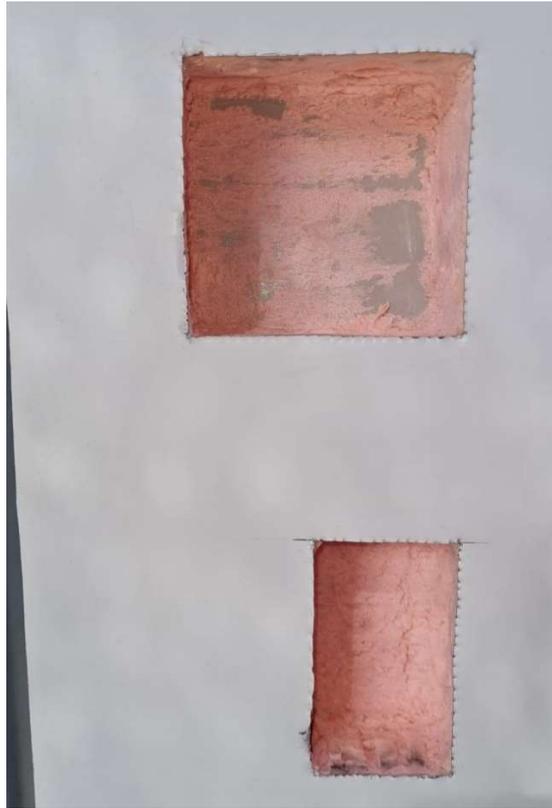
Figura 12: Clasificación del uso del tiempo de operarios esperados para "instalación de puertas automáticas"



3.1.3.5 Perforación de paneles

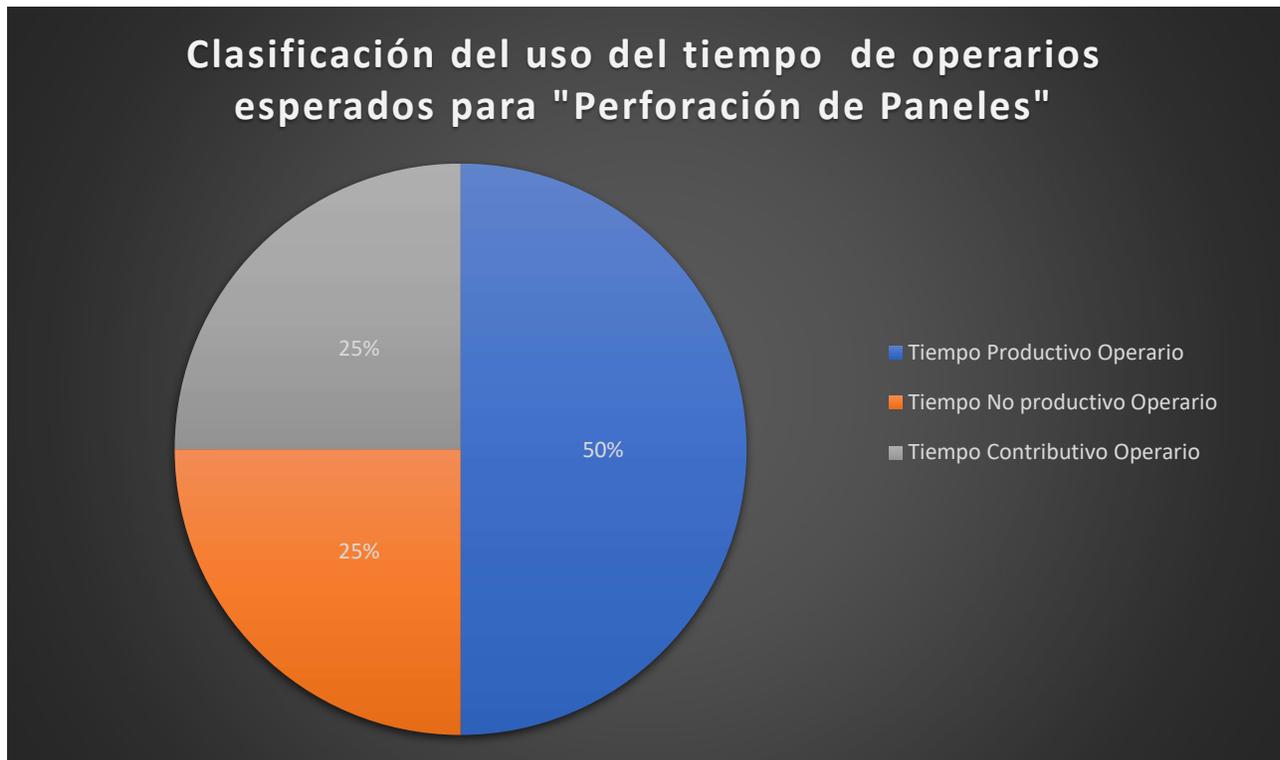
Este proceso corresponde a la perforación de los paneles prefabricados de cuarto limpio de marca CRDB realizados para la colocación de cajas de tomas de corriente y de salidas de datos. Estas perforaciones corren por cuenta de Scala debido a que es la encargada de dar las facilidades al subcontrato electromecánico para que llegue a colocar las cajas de las luminarias y a realizar el cableado y colocación de la tapa correspondiente para las salidas de corriente y de datos. En la Figura 13 se evidencia cómo se ven las perforaciones en la superficie metálica de los paneles de los cuartos limpios.

Figura 13: Perforación realizada en un panel de cuarto limpio para la instalación de cajas para luminarias



Al tratarse de un cuarto limpio especializado, donde se van a llevar a cabo procesos complejos y demandantes de equipos por parte del cliente, se establecieron en diseño una cantidad superior al promedio de tomas de corriente y de salidas de datos, las cuales deben perforarse una por una en los paneles mediante la implementación de taladros, sierras sable y tijeras para lata. Posteriormente, se procede a sacar con un destornillador la espuma de alta densidad del interior del panel para que pueda fijarse la caja y hacerse la canalización correspondiente. En la Figura 14 se muestran los resultados promediados de la productividad que se esperan para este proceso constructivo. Los valores obtenidos mediante el método tradicional para este proceso constructivo son de 50 % de tiempo productivo, 25 % de tiempo contributivo y 25 % de tiempo no productivo.

Figura 14: Clasificación del uso del tiempo de operarios esperados para "perforación de paneles"



3.1.3.6 Colocación de piso epóxico

Este proceso constructivo lo llevó a cabo la empresa Novatec, compañía con una rama especializada en pisos epóxicos como pisos con escamas y epóxico transparente (Figura 15) o como en este caso pisos de epóxico de un color sólido (Figura 16). Este piso tiene la particularidad de ser difícil de aplicar debido al desprendimiento de gases tóxicos, rápido tiempo de secado y costo para emparejar el piso. La empresa tiene un proceso donde se aplica el material epóxico mientras los operarios caminan sobre zapatos con puntas en la suela para no dejar huellas y esparcen el epóxico con espátulas y, finalmente, le pasan un rodillo para dejar una textura de piel de naranja como la que se muestra en la Figura 17.

Figura 15: Fotografía de piso epóxico transparente con escamas



Figura 16: Fotografía de piso epóxico gris

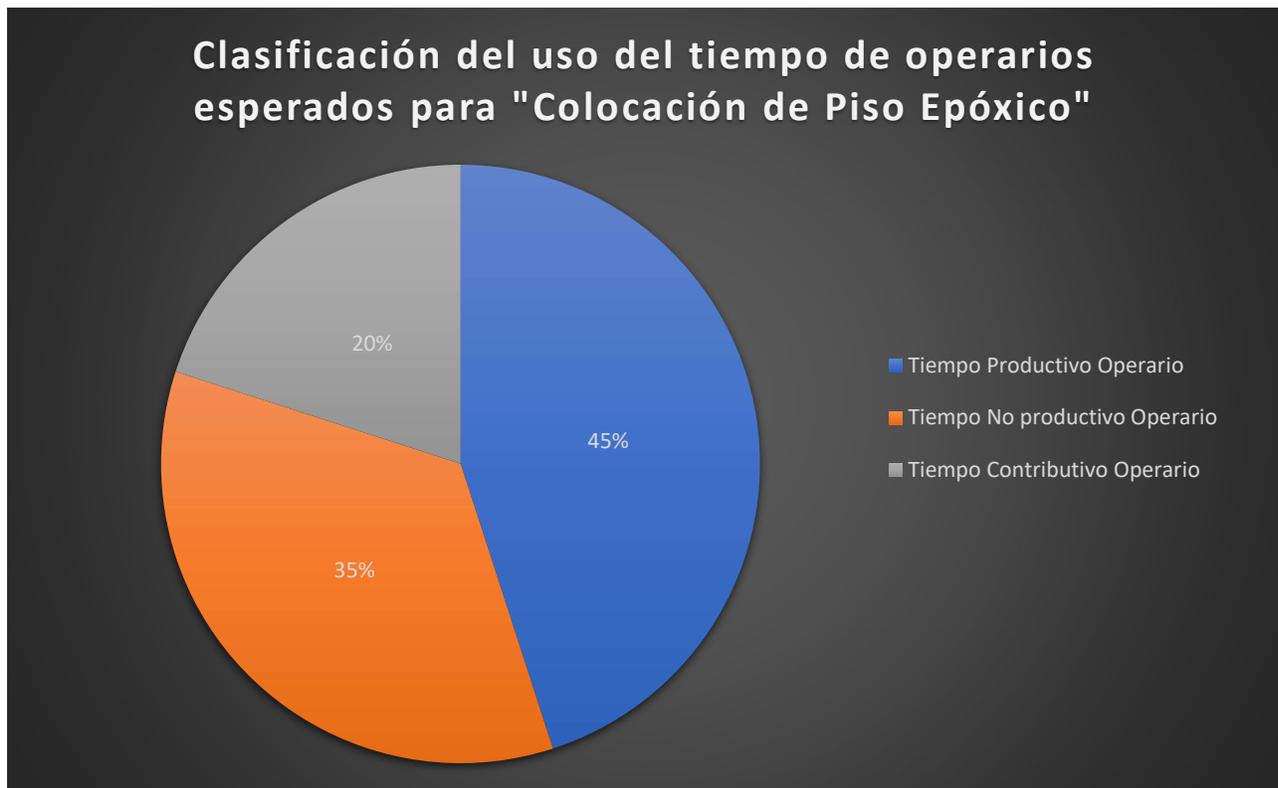


Figura 17: Fotografía de piso epóxico gris con acabado de piel de naranja



La totalidad de los m² del proyecto de los cuartos limpios para Edward Lifesciences es cubierta por epóxico de color gris con textura de piel de naranja para que sea antideslizante. Este piso tiene la peculiaridad de ser frágil a la caída de objetos pesados (se puede picar como cerámica) y susceptible de rayones como los que puede ocasionar una piedra en la suela de un zapato. Esto se debe a que en una construcción es complicado controlar todos los parámetros para cuidar a la perfección el piso, por lo que se ocasionan durante el proceso de aplicación muchos retrabajos de reparación. En la Figura 18 se detallan los valores de productividad promediados para las cuadrillas en este proceso constructivo. Los valores obtenidos mediante el método tradicional para este proceso constructivo son de 45 % de tiempo productivo, 20 % de tiempo contributivo y 35 % de tiempo no productivo.

Figura 18: Clasificación del uso del tiempo de operarios esperados para "colocación de piso epóxico"



3.2 Procedimiento para el análisis de la productividad de la mano de obra en distintas actividades constructivas

Como parte del alcance del presente trabajo final se busca dar a la división de Edica Limitada, Scala una alternativa a la forma tradicional de medir productividad en la empresa. Si de tiempo atrás la información que se maneja respecto a productividad de la mano de obra es subjetiva y sin una base de datos, ahora se pretende dejar un precedente que pueda optimizar los sistemas de información de la compañía para futuros proyectos por realizar.

Como forma de optimizar las mediciones de productividad y guardar la información se propone en el presente trabajo un método estudiado y optimizado para que la empresa pueda medir la productividad, tanto en sus procesos constructivos como en los de sus subcontratos. Este procedimiento busca funcionar enfocado en el tipo y a la magnitud de los proyectos que desarrolla Scala. Con este método se pretende mejorar el uso de los recursos que la compañía emplea al conocer los usos que sus cuadrillas le dan al tiempo, lo que facilita la medición y lo que disminuye el tiempo que toma medirlos. En ocasiones, se pretende que no haga falta medir productividad si no que con una consulta a una base de datos de distintos procesos se puedan conocer los valores deseados. Este método se busca que se implemente en el sistema integrado de gestión con el que la empresa cuenta en carpetas de Microsoft OneDrive para el desarrollo de proyectos.

Un método claro y estandarizado para la medición de productividad puede eliminar multitud de sesgos que puede haber al conocer los tiempos efectivos de forma subjetiva. Malas experiencias pasadas, carga de trabajo u observaciones en momentos poco oportunos pueden causar resultados poco precisos que puedan desencadenar errores en la programación de las actividades en los cronogramas o en temas tratados sin fundamento suficiente en reuniones del proyecto. Un sistema estandarizado de medición para la empresa evidencia resultados claros, mejor fundamentados, precisos y ordenados que puedan utilizarse para conocer duraciones en actividades, dejar constancias mediante correos electrónicos de los procesos que se realizan o tratar con fundamento temas en reuniones con los ingenieros y maestros de obras de la propia compañía o de los subcontratos.

3.2.1 Técnicas de recolección de datos

Existen diversas formas en que se puede medir la productividad de la mano de obra. Radolph Thomas explica tres de estos, los cuales se detallaron en el apartado de marco teórico del presente documento. Algunas de estas técnicas son más elaboradas y toman un mayor tiempo para realizar las mediciones que otras. Para el método seleccionado se busca un balance entre complejidad y eficacia. Se necesita un método que arroje resultados certeros con el menor tiempo posible necesario para llevar a cabo las mediciones. Es de esperar que un ingeniero o un asistente de ingeniería no disponga de gran cantidad de horas para medir la productividad por lo que se necesita aprovechar el tiempo.

Al tomar en cuenta los criterios mencionados se selecciona como método para medir la productividad de la mano de obra en distintas actividades constructivas la técnica del *five minutes rating*. Este es un método que se utiliza para medir la productividad de la mano de obra en múltiples sectores de la industria (como la construcción). Esta técnica se emplea para medir el tiempo que tarda un trabajador en realizar una tarea específica.

El procedimiento consiste en que un supervisor observe al trabajador durante un periodo de 5 minutos mientras realiza una tarea específica. Durante este tiempo, el supervisor mide la cantidad de trabajo realizado por el trabajador y lo compara con el tiempo que le llevó completar la tarea. El resultado es un indicador de la productividad del trabajador, ya que se compara la cantidad de trabajo realizado con el tiempo que se utiliza para hacerlo.

Este método se puede utilizar para medir la productividad de un trabajador individual o de cuadrillas de trabajadores. En el caso de cuadrillas se toman mediciones de individuos elegidos al azar y se utilizan como valores representativos para el grupo de trabajo. Cabe destacar que para medir la productividad de cuadrillas se debe alternar el individuo que se utiliza como sujeto de muestra entre medición y medición.

3.2.2 Procedimiento para la medición de productividad y obtención de clasificaciones del tiempo

Para implementar de manera correcta un proceso de medición de productividad de la mano de obra se procede a definir un paso a paso. Este busca estandarizar los procedimientos para que personas sin experiencia en mediciones de este tipo, con pocos conocimientos de estadística o que no tengan mucho tiempo puedan aportar a las mediciones cuando se requiera. A continuación, se detalla el paso a paso del proceso de medición propuesto y con el cual se recolectan las mediciones presentadas en capítulos siguientes.

3.2.2.1 Definir el objetivo de las mediciones

Para realizar mediciones de productividad de la mano de obra se deben emplear recursos valiosos en un proyecto de construcción. Estos principalmente se componen de horas hombre empleadas recolectando la

información. Por este motivo, antes de que se empiece a tomar mediciones es importante tener claro o explicarle a la persona que medirá la razón por la que se requiere medir la productividad de la mano de obra para actividades constructivas concretas.

Estas razones pueden variar según el contexto y la etapa del proyecto. Un ejemplo puede ser la necesidad de obtener el tiempo realmente efectivo en campo para generar proyecciones en el cronograma de un proyecto sobre actividades críticas. Otra razón por la que se pueden requerir mediciones de productividad es para llevar control de subcontratos que presenten atrasos constantes. Lo importante es dejar en claro el objetivo para el que se deben realizar las mediciones, para que la persona que mida pueda transmitir y expresar los datos recolectados de una forma efectiva y que se enfoque en las necesidades del proyecto.

3.2.2.2 Definir los procesos constructivos por medir

El siguiente paso debe ser definir el trabajo que se evalúa, asegurándose de que esté definido claramente. En el caso de la herramienta que se planteó se busca que se centre en un proceso constructivo a la vez. De esta forma, se puede tomar un número considerable de mediciones de una cuadrilla realizando una actividad específica para recolectar datos estadísticos que permitan un análisis complejo.

3.2.2.3 Establecer los criterios de evaluación

El siguiente paso es establecer los criterios de evaluación que se utilizan para medir la productividad de la mano de obra. Estos criterios deben ser específicos, mensurables y objetivos. En el caso de la presente herramienta los criterios por definir deben ser la cantidad de tiempo de medición necesario, la cantidad de personas diferentes que se midan realizando una misma actividad, la clasificación correcta de los tiempos para la clasificación en la matriz y los periodos en los cuales se debe medir la productividad.

3.2.2.4 Tomar las mediciones

El evaluador debe observar el trabajo que realiza un operario específico durante un periodo de 5 minutos. En este tiempo se deben tener en cuenta diversas consideraciones como la distancia a la que la persona que mide debe estar de los operarios que llevan a cabo la actividad. Esto se debe a que al haber una persona ajena a la actividad en curso sobre el trabajo de la cuadrilla observando y tomando anotaciones se pueden afectar los resultados de las mediciones. Lo anterior ya que los operarios al sentir la presencia de una persona evaluándolos pueden tender a trabajar más enfocados en la tarea de lo que lo harían solos, por lo que se obtendrían resultados poco representativos de las mediciones.

Otro factor para tomar en cuenta al obtener las mediciones es que se debe intervenir lo menos posible en la actividad en ejecución. Comentarios respecto a la toma de mediciones de productividad o distracciones a los trabajadores pueden ocasionar desviaciones en los resultados de las mediciones y alejarlos de la realidad. En este caso el desvío puede empeorar los resultados de la productividad de la mano de obra por incentivar a las conversaciones, descansos y el ocio en la cuadrilla de trabajo.

3.2.2.5 Evaluar el trabajo

Después de la observación, el evaluador debe valorar el trabajo de acuerdo con los criterios establecidos, para lo cual registra en una matriz para la medición de productividad con una letra "X" el resultado de la medición de productividad. Lo que se debe decidir tras los 5 minutos de medición es si el trabajo del operario durante ese tiempo fue:

- **Productivo:** Utilizado en la ejecución de la actividad constructiva.
- **Contributivo:** Utilizado para ayudar a la tarea sin ejecutarla directamente.
- **No productivo:** Utilizado en acciones totalmente ajenas a la actividad.

Cabe destacar que se proponen distintas clasificaciones para el tiempo contributivo y no productivo, en las cuales la persona quien realiza las mediciones debe justificar en qué se utilizó el tiempo que no fue productivo.

3.2.2.6 Calcular la productividad de la mano de obra

Para calcular la productividad de la mano de obra se deben obtener porcentajes de los usos del tiempo de esta. Estos se obtienen al sumar la totalidad de las mediciones de cada rubro en específico y dividir entre el número total de mediciones realizadas. El objetivo es representar el porcentaje específico de cada uso de tiempo en distintos tipos de gráficos, como pueden ser de pastel, de columnas o de *crew balance*. Toda esta información estadística junto con su análisis se detalla a continuación en el presente trabajo.

3.2.2.7 Proporcionar retroalimentación y establecer objetivos

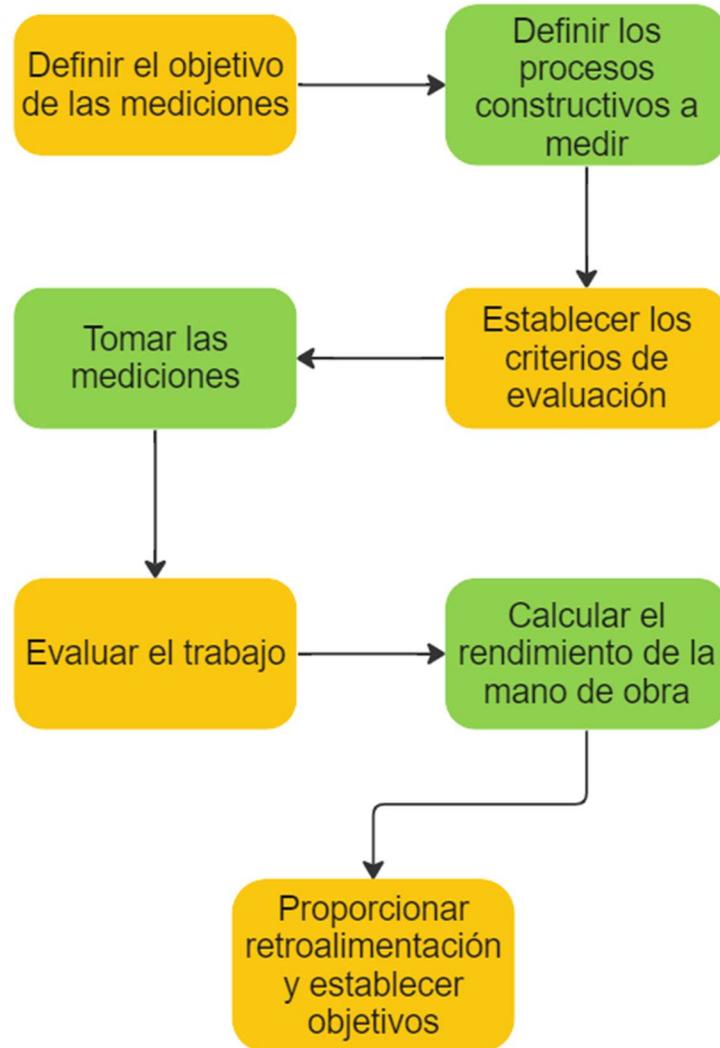
Finalmente, el evaluador debe pasar los resultados de las mediciones al Departamento de Ingeniería del proyecto correspondiente para comentarse y utilizarse con los fines convenientes, ya sea mejorar las condiciones de los trabajadores, guardar respaldos de los procesos llevados a cabo, sancionar a los subcontratistas por ineficiencia o cualquier otro fin oportuno.

El objetivo final de las mediciones siempre debe ser establecer objetivos específicos para mejorar la productividad de la mano de obra en el futuro. Esto se debe a que con mejores tiempos efectivos todas las partes involucradas en un proceso constructivo se ven beneficiadas. El cliente obtiene antes el proyecto terminado, el contratista general no se atrasa en las entregas al cliente, por lo que se ahorra sanciones y el subcontratista se ahorra posibles multas por atrasos en las entregas. En los proyectos de construcción un mejor uso de los recursos se traduce en ahorros de tiempo y, por lo tanto, de dinero.

3.2.3 Diagrama de flujo con procedimiento de medición de productividad y obtención de clasificaciones del tiempo

A continuación, en la Figura 19 se presenta un diagrama de flujo con el procedimiento completo que se propone para medir la productividad de la mano de obra. Este paso a paso contiene información que se enfoca directamente en la empresa para la cual se desarrolla el trabajo.

Figura 19: Diagrama de flujo con el procedimiento de medición de productividad



3.2.4 Matriz para la recolección de mediciones de productividad

A continuación, en la Figura 20 se muestra la matriz propuesta para recopilar las mediciones de productividad de la mano de obra para la división Scala de la empresa Edica Limitada. Esta propuesta toma en cuenta los factores observados en el proyecto de cuartos limpios para Edwards Lifesciences, donde mediante la observación y anotación de los comportamientos de la mano de obra se generó esta matriz que incorpora los distintos comportamientos de los operarios durante el horario laboral. Cabe destacar que la matriz se enfoca en recopilar información del comportamiento de las cuadrillas de trabajo para un proceso constructivo

específico, donde el nombre del proceso constructivo debe especificarse en la sección “detalle del proceso” y la conformación de la cuadrilla debe anotarse en la sección de notas en la parte inferior de la matriz.

Figura 20: Matriz de recolección de mediciones de productividad propuesta

Detalle del proceso:		XXX												Portada	Notas
Intervalos de 5 minutos	Trabajo productivo	Trabajo contributivo							Trabajo no productivo					Notas	
		Apoyo	Instrucción	Medición	Supervisión	Trazo	Transporte -10 m	Transporte +10 m	Ausente	Descanso	Esperas	Retrabajo	Ocioso		
0															
5															
10															
15															
20															
25															
30															
35															
40															
45															
50															
55															
60															
65															
70															
75															
80															
85															
90															
95															
100															
105															
110															
115															
120															
TOTALES	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
NOTAS: XXX															

Simbología	
X	XXX

La matriz de la Figura 20 se presenta vacía a modo de plantilla en blanco para que futuras mediciones de productividad llenen los espacios vacíos de la matriz como corresponda. En la matriz se presenta en la primera fila (detallada en la Figura 21) una casilla dedicada para que la persona usuaria pueda detallar el proceso constructivo que se mide. Asimismo, a la derecha de esta primera fila se presenta un botón que devuelve al usuario a la portada de la herramienta de medición.

Figura 21: Detalle de matriz de medición de productividad

Detalle del proceso: XXX		Trabajo contributivo											Trabajo no productivo			Notas
Intervalos de 5 minutos	Trabajo productivo	Apoyo	Instrucción	Medición	Supervisión	Trazo	Transporte -10 m	Transporte +10 m	Ausente	Descanso	Esperas	Retrabajo	Ocloso	Notas		
0																
5																
10																
15																
20																
25																
30																
35																
40																
45																
50																
55																
60																
65																
70																
75																
80																
85																
90																
95																
100																
105																
110																
115																
120																
TOTALES	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
NOTAS: XXX																

Simbología	
X	XXX

Posteriormente, en la segunda fila (como se detalla en la Figura 22) aparecen las distribuciones de los tiempos donde según las observaciones la persona usuaria irá clasificando el uso del tiempo. Estas clasificaciones son el trabajo productivo, el trabajo contributivo y el trabajo no productivo. Cada una se detalla a continuación.

3.2.4.1 Tiempo en trabajo productivo

La primera clasificación, con el color verde corresponde al trabajo productivo, que en la construcción se refiere al periodo en el cual los trabajadores están trabajando en la ejecución de tareas que se relacionan con el proyecto de construcción. Esto incluye el tiempo en que se realizan las actividades constructivas propuestas (establecidas previamente en el cronograma de obra). Es importante que los supervisores de la construcción maximicen el tiempo productivo para mejorar el uso del tiempo de la mano de obra en actividades constructivas.

3.2.4.2 Tiempo en trabajo contributivo

La segunda clasificación se refiere al trabajo contributivo. Este se relaciona con las tareas que son esenciales para el progreso y éxito de un proyecto de construcción, pero que no están asociadas directamente con la ejecución de los procesos constructivos por sí mismos. En la matriz propuesta el trabajo contributivo se clasifica en distintas acciones que se observaron como recurrentes en el proyecto en estudio. Estas clasificaciones a continuación se detallan:

- **Apoyo:** Corresponde al tiempo en que el trabajador realiza labores de ayudante como sostener una escalera, aspirar el polvo de una perforación o sostener la herramienta mientras que un compañero lleva a cabo un trabajo.

- **Instrucción:** Corresponde al tiempo en que un operario le da una instrucción sobre cómo realizar una tarea a un compañero.
- **Medición:** Corresponde al tiempo que utiliza un operario para tomar anotaciones, medidas necesarias para realizar una actividad constructiva.
- **Supervisión:** Se trata del tiempo que utiliza un operario en revisar que una actividad en específico se haga de la forma en la que se indicó. Este tipo ocurre en grupos de trabajo grandes donde hay distintos frentes de trabajo diariamente, por lo que se delegan trabajadores para supervisar los procesos en ejecución.
- **Trazo:** Se trata del tiempo que se utiliza para definir las áreas sobre las cuales se trabaja en una actividad constructiva específica. Esto puede ser trazar un corte en *gypsum*, marcar un corte o una perforación en un panel de cuarto limpio, entre otras alternativas.
- **Transporte -10 m:** Corresponde al tiempo que utilizan los trabajadores para transportar material de un área a otra o para movilizarse entre las zonas donde se realiza la actividad constructiva. Todo esto desplazándose una distancia aproximada menor que los 10 m.
- **Transporte +10 m:** Se trata del tiempo que utilizan los operarios para transportar material de un área a otra o para movilizarse entre las zonas donde se realiza la actividad constructiva. Todo esto desplazándose una distancia aproximada superior a los 10 m.

3.2.4.3 Tiempo en trabajo no productivo

La tercera clasificación del uso del tiempo en la ejecución de procesos constructivos corresponde al trabajo no productivo. Este tipo de trabajo en la construcción se refiere a cualquier periodo durante el cual no se realiza trabajo productivo ni contributivo. Se le puede llamar como tiempo *perdido* debido a que no se aporta nada en las tareas programadas para la jornada de trabajo. Según la matriz que se plantea utilizar se propone clasificar el tiempo no productivo en las siguientes categorías.

- **Ausente:** Corresponde al tiempo en el que el trabajador directamente se va del área de trabajo sin estar transportando material o herramienta. En esta clasificación entran los tiempos de ida al baño o donde los trabajadores se van del área de trabajo para dejar que el tiempo pase y esperar que lleguen los momentos de descanso o de comida.
- **Descanso:** Corresponde al tiempo en que el colaborador detiene el trabajo y no realiza avances debido al cansancio físico.
- **Esperas:** Se trata del tiempo en el que el trabajador no puede avanzar con sus tareas por estar a la espera de llegada de materias, de instrucción, de trazo o de cualquier coordinación por parte de ingeniería.
- **Retrabajo:** Se refiere al tiempo que utilizan los operarios para llevar a cabo actividades que ya habían realizado, pero que no quedaron de la forma correcta. Ejemplo de esto puede ser el aplicar silicón en juntas de cuartos limpios, pero no darle el acabado liso necesario para pasar el control de calidad arquitectónico o las mediciones de partículas, por lo que se debe volver a aplicar silicón donde ya se había hecho.
- **Ocioso:** Se refiere al tiempo en que los trabajadores detienen sus labores para conversar entre ellos, utilizar el celular o distraerse escuchando conversaciones de otros trabajadores.

Figura 22: Detalle de matriz de medición de productividad

Detalle del proceso:		XXX													Portada
Intervalos de 5 minutos	Trabajo productivo	Trabajo contributivo							Trabajo no productivo				Notas		
		Apoyo	Instrucción	Medición	Supervisión	Trazo	Transporte -10 m	Transporte +10 m	Ausente	Descanso	Esperas	Retrabajo		Ocioso	
Fecha: XX/XX/XX. Condición: XXX. Hora: XXX pm/am	0														
	5														
	10														
	15														
	20														
	25														
	30														
	35														
	40														
	45														
	50														
	55														
Fecha: XX/XX/XX. Condición: XXX. Hora: XX pm/am	60														
	65														
	70														
	75														
	80														
	85														
	90														
	95														
	100														
	105														
	110														
	115														
TOTALES		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
NOTAS: XXX															

En la matriz se muestra en la primera columna de la izquierda un espacio previsto para que la persona usuaria que realiza las mediciones coloque la fecha en la que las lleva a cabo, junto con la condición climática (si hace calor, frío, lluvia u otro) y la hora a la que se inició con la medición. Lo mencionado se puede ver al detalle en la Figura 23.

Figura 23: Detalle de matriz de medición de productividad

Detalle del proceso:		XXX													Portada
Intervalos de 5 minutos	Trabajo productivo	Trabajo contributivo							Trabajo no productivo				Notas		
		Apoyo	Instrucción	Medición	Supervisión	Trazo	Transporte -10 m	Transporte +10 m	Ausente	Descanso	Esperas	Retrabajo		Ocioso	
Fecha: XX/XX/XX. Condición: XXX. Hora: XXX pm/am	0														
	5														
	10														
	15														
	20														
	25														
	30														
	35														
	40														
	45														
	50														
	55														
Fecha: XX/XX/XX. Condición: XXX. Hora: XX pm/am	60														
	65														
	70														
	75														
	80														
	85														
	90														
	95														
	100														
	105														
	110														
	115														
TOTALES		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
NOTAS: XXX															

En la segunda columna se presentan los tiempos de medición en intervalos de 5 minutos, donde cada intervalo corresponde a una medición. Cada hora de medición se presenta una celda amarilla que demarca que se está completando una hora de medición. Lo mencionado se puede ver al detalle en la Figura 24.

Figura 24: Detalle de matriz de medición de productividad

Detalle del proceso:		XXX													Portada
Intervalos de 5 minutos	Trabajo productivo	Trabajo contributivo							Trabajo no productivo				Notas		
		Apoyo	Instrucción	Medición	Supervisión	Trazo	Transporte -10 m	Transporte +10 m	Ausente	Descanso	Esperas	Retrabajo		Ocioso	
Fecha: XX/XX/XX.	0														
Condición: XXX. Hora: XXX pm/am	5														
	10														
	15														
	20														
	25														
	30														
	35														
	40														
	45														
	50														
	55														
	60														
	65														
	70														
	75														
	80														
	85														
	90														
	95														
	100														
	105														
	110														
	115														
	120														
	TOTALES	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
NOTAS: XXX															

Simbología	
X	XXX

Posteriormente, en la última columna ubicada a la derecha y en la última fila (las cuales se titulan con la palabra “NOTAS”) se deja un espacio previsto de llenado opcional donde la persona usuaria puede colocar notas que considere importantes durante la medición. Esto puede ser el número de integrantes de la cuadrilla, si la cuadrilla estaba conformada por trabajadores que se llevan mal entre ellos, si se está laborando en un horario extendido, entre otras opciones que puedan afectar la eficacia de trabajo del personal. El detalle de esto se muestra en la Figura 25.

Figura 25: Detalle de matriz de medición de productividad

Detalle del proceso: XXX		Portada													
Intervalos de 5 minutos	Trabajo productivo	Trabajo contributivo							Trabajo no productivo					Notas	
		Apoyo	Instrucción	Medición	Supervisión	Traza	Transporte -10 m	Transporte +10 m	Ausente	Descanso	Esperas	Retrabajo	Ocioso		
0															
5															
10															
15															
20															
25															
30															
35															
40															
45															
50															
55															
60															
65															
70															
75															
80															
85															
90															
95															
100															
105															
110															
115															
120															
TOTALES	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
NOTAS: XXX															

Simbología	
X	XXX

3.3 Herramienta para el procesamiento estadístico de las mediciones de productividad y obtención de clasificaciones del tiempo

Este apartado presenta los detalles de la herramienta de análisis estadístico propuesta para arrojar datos fácilmente interpretables a partir de las mediciones de productividad realizadas en campo y almacenadas en la matriz que se muestra en la sección 3.2 del presente trabajo. Se plantea la herramienta programada en Microsoft Excel®, con el fin de que pueda utilizarse en el análisis de futuras mediciones realizadas. Con esto se ahorra tiempo, se agilizan procesos y se proporciona información clara al Departamento de Ingeniería de cada proyecto en específico.

De igual forma, en este apartado se presentan los resultados de la medición de distintos procesos constructivos durante varias horas para obtener resultados representativos del trabajo realizado por la mano de obra de cuadrillas de distintas empresas en el proyecto de cuartos limpios para Edwards Lifesciences. Estos valores, además de presentar la productividad del proyecto en estudio permiten explicar con un ejemplo práctico la herramienta propuesta para los análisis estadísticos.

3.3.1 Herramienta de procesamiento estadístico

A continuación, se detalla el paso a paso del uso de la herramienta programada para hacer los cálculos estadísticos y generar los gráficos necesarios a partir de las mediciones recolectadas en campo.

3.3.1.1 Conteo de mediciones

En la Figura 26 se presenta la matriz de toma de mediciones de productividad que se presentó en la sección anterior. Como se mencionó, el objetivo de esta matriz es que funcione, a la vez, como base de datos que alimente los gráficos que propician al análisis de los resultados.

Figura 26: Matriz de medición de productividad

Detalle del proceso:		XXX												Portada	Notas
Intervalos de 5 minutos	Trabajo productivo	Trabajo contributivo							Trabajo no productivo					Notas	
		Apoyo	Instrucción	Medición	Supervisión	Trazo	Transporte -10 m	Transporte +10 m	Ausente	Descanso	Esperas	Retrabajo	Ocioso		
0															
5															
10															
15															
20															
25															
30															
35															
40															
45															
50															
55															
60															
65															
70															
75															
80															
85															
90															
95															
100															
105															
110															
115															
120															
TOTALES	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
NOTAS: XXX															

Simbología	
X	XXX

En esta matriz al tomar mediciones los valores que se introducen como letras (por ejemplo, con una X en cada medición), se trasladan a valores numéricos mediante programación en Microsoft Excel®, lo que hace que se cuente cada valor de X, lo que da al final de la matriz una fila de totales donde se presenta automáticamente la cantidad de valores X en cada columna. Esta columna se especifica en la Figura 27. Estos totales significan cuántas mediciones de 5 minutos dieron como resultado cada uso del tiempo en específico.

Figura 27: Detalle, matriz de medición de productividad

Detalle del proceso: XXX		Portada													
Intervalos de 5 minutos	Trabajo productivo	Trabajo contributivo							Trabajo no productivo				Notas		
		Apoyo	Instrucción	Medición	Supervisión	Trazo	Transporte -10 m	Transporte +10 m	Ausente	Descanso	Esperas	Retrabajo		Ocioso	
0															
5															
10															
15															
20															
25															
30															
35															
40															
45															
50															
55															
60															
65															
70															
75															
80															
85															
90															
95															
100															
105															
110															
115															
120															
TOTALES	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
NOTAS: XXX															

Simbología	
X	XXX

3.3.1.2 Tablas con datos estadísticos

En el Cuadro 3 se presenta un resumen de los resultados de la matriz de productividad que se mencionó. Esta funciona para la persona usuaria, tanto a modo de resumen de los datos recolectados como base para que automáticamente se generen los gráficos estadísticos para la representación visual de los datos.

Cuadro 3: Resumen de datos que se obtienen en mediciones

Resumen de datos obtenidos en mediciones														
Total de muestras	Trabajo Productivo	Trabajo Contributivo							Trabajo No Productivo					
		Apoyo	Instrucción	Medición	Supervisión	Trazo	Trans -10m	Trans +10m	Ausente	Descanso	Esperas	Retrabajo	Ocioso	
0														
Subtotales	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Porcentajes	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
Totales	0	0							0					
Porcentajes totales	0%	0%							0%					

En esta tabla los totales de la matriz de medición de productividad se copian automáticamente en la fila de *subtotales* señalada en el Cuadro 4. Además, en la misma figura se señala en la primera columna el espacio donde automáticamente a partir de la matriz se cuentan el total de muestras sumando el total de mediciones de 5 minutos realizadas.

Cuadro 4: Detalle de resumen de datos que se obtienen en mediciones

Resumen de datos obtenidos en mediciones													
Total de muestras	Trabajo Productivo	Trabajo Contributivo							Trabajo No Productivo				
0		Apoyo	Instruccion	Medicion	Supervisión	Trazo	Trans -10m	Trans +10m	Ausente	Descanso	Esperas	Retrabajo	Ocioso
Subtotales	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Porcentajes	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
Totales	0	0							0				
Porcentajes totales	0%	0%							0%				

Posteriormente, se toman los valores de cada subtotal y se dividen entre el total de muestras para obtener el porcentaje del tiempo al que corresponde cada acción de la matriz. Esto se evidencia en el Cuadro 5.

Cuadro 5: Detalle de resumen de datos que se obtienen en mediciones

Resumen de datos obtenidos en mediciones													
Total de muestras	Trabajo Productivo	Trabajo Contributivo							Trabajo No Productivo				
0		Apoyo	Instruccion	Medicion	Supervisión	Trazo	Trans -10m	Trans +10m	Ausente	Descanso	Esperas	Retrabajo	Ocioso
Subtotales	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Porcentajes	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
Totales	0	0							0				
Porcentajes totales	0%	0%							0%				

En esta tabla se detallan las cantidades totales del tiempo productivo, contributivo y no contributivo. Estos valores se calculan automáticamente al sumar las cantidades de las mediciones obtenidas para cada uno de los distintos tipos de tiempos. Por último, se presenta en la última columna los porcentajes totales de la distribución de tiempo productivo, contributivo y no productivo. Esto se calcula automáticamente aparte de los valores totales y al dividirlos entre el valor total de la muestra. Todo lo anterior se detalla en el Cuadro 6.

Cuadro 6: Detalle de resumen de datos que se obtienen en mediciones

Resumen de datos obtenidos en mediciones													
Total de muestras	Trabajo Productivo	Trabajo Contributivo							Trabajo No Productivo				
0		Apoyo	Instruccion	Medicion	Supervisión	Trazo	Trans -10m	Trans +10m	Ausente	Descanso	Esperas	Retrabajo	Ocioso
Subtotales	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Porcentajes	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
Totales	0	0							0				
Porcentajes totales	0%	0%							0%				

A continuación, se presenta en el Cuadro 7 la distribución de tiempos totales simplificada para cada tipo de trabajo. Esta simplifica la información de la tabla mostrada y permite generar los gráficos automáticos. La primera fila de datos corresponde al total de mediciones y la segunda fila es el porcentaje que estas representan sobre el total de la muestra.

Cuadro 7: Distribución de tiempos totales

Distribución de tiempos totales		
Trabajo Productivo	Trabajo No Productivo	Trabajo Contributivo
0	0	0
0%	0%	0%

Como la última tabla por explicar se tiene el Cuadro 8, que presenta la distribución de los tiempos subtotales con la cantidad de las repeticiones de cada tipo de uso del tiempo en la primera columna de datos y en la última columna se presentan los porcentajes que se obtienen a partir de las repeticiones de cada tiempo y el tamaño de la muestra. Esta tabla es importante para generar los gráficos automatizados que se presentan a continuación.

Cuadro 8: Distribución de tiempos subtotales



Distribución de tiempos subtotales		
Tipo de actividad	Repeticiones	Porcentaje
Trabajo Productivo	0	0%
Apoyo	0	0%
Instrucción	0	0%
Medición	0	0%
Supervisión	0	0%
Trazo	0	0%
Trans -10m	0	0%
Trans +10m	0	0%
Ausente	0	0%
Descanso	0	0%
Esperas	0	0%
Retrabajo	0	0%
Ocioso	0	0%

3.3.2 Tablas y gráficos con los resultados de las mediciones en campo para los distintos procesos constructivos

A continuación, se evidencian a modo de ejemplo las tablas presentadas con la información resumen de todas las mediciones en los distintos procesos constructivos del proyecto de cuartos limpios para Edwards Lifesciences. De igual forma, se presentan los gráficos que se generan a partir de estas tablas con información estadística calculada de manera automatizada por la herramienta de Microsoft Excel®. Cabe destacar que las matrices de medición de productividad con toda la información de las mediciones detallada cada 5 minutos se encuentran en el Apéndice 1.

3.3.2.1 Trabajos de pintura

En el Cuadro 9 se muestra el resumen de los resultados de las mediciones de productividad de la mano de obra para el proceso constructivo de *trabajos de pintura*, que se lleva a cabo por cuadrillas de la empresa *Scala*.

Cuadro 9: Resumen de datos que se obtienen en mediciones

Resumen de datos obtenidos en mediciones													
Total de muestras	Trabajo Productivo	Trabajo Contributivo							Trabajo No Productivo				
		Apoyo	Instrucción	Medición	Supervisión	Trazo	Trans -10m	Trans +10m	Ausente	Descanso	Esperas	Retrabajo	Ocioso
73													
Subtotales	43	4	1	1	0	1	1	5	4	6	2	0	4
Porcentajes	59%	5%	1%	1%	0%	1%	1%	7%	5%	8%	3%	0%	5%
Totales	43	13							16				
Porcentajes totales	59%	18%							22%				

En la Figura 10 se presenta la tabla de distribución de tiempos totales que resume la información más general sobre los resultados de las mediciones en campo de las cuadrillas, en este caso de la empresa Scala en el proceso constructivo de *trabajos de pintura*.

Cuadro 10: Resumen de datos que se obtienen en mediciones

Distribución de tiempos totales		
Trabajo Productivo	Trabajo No Productivo	Trabajo Contributivo
43	16	13
59%	22%	18%

Posteriormente, en el Cuadro 11 se presenta la tabla de distribución de tiempos subtotales que presenta la información de una forma desglosada sobre los usos del tiempo de las cuadrillas, en este caso de la empresa *Scala* en el proceso constructivo antes descrito.

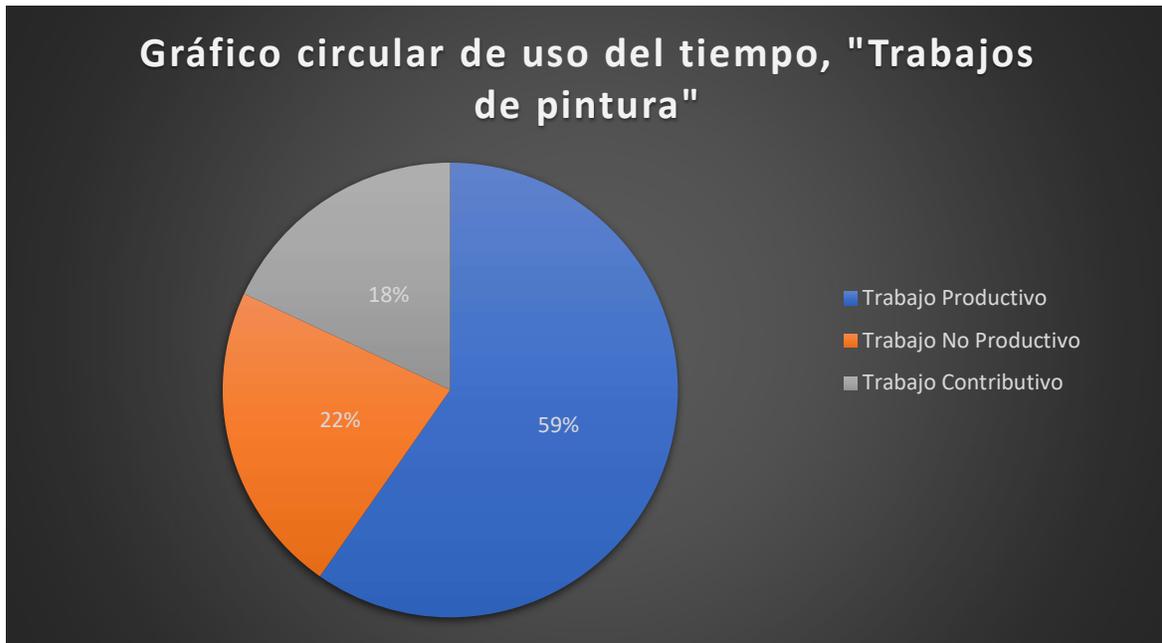
Cuadro 11: Distribución de tiempos subtotales

Distribución de tiempos subtotales		
Tipo de actividad	Repeticiones	Porcentaje
Trabajo Productivo	43	59%
Apoyo	4	5%
Instrucción	1	1%
Medición	1	1%
Supervisión	0	0%
Trazo	1	1%
Trans -10m	1	1%
Trans +10m	5	7%
Ausente	4	5%
Descanso	6	8%
Esperas	2	3%
Retrabajo	0	0%
Ocioso	4	5%

Como siguiente paso se inicia con la presentación de los gráficos que se generan automáticamente a partir de las mediciones realizadas en campo. Estos se le generan al usuario de forma inmediata cuando este empieza a colocar los resultados de sus mediciones en la matriz de mediciones de productividad, lo que le ahorra tiempo y reduce el factor de error humano al hacer los cálculos.

Se inicia con la Figura 28 que muestra el gráfico circular con los porcentajes del uso del tiempo totales divididos en *trabajo productivo*, *trabajo no productivo* y *trabajo contributivo*. El gráfico muestra datos claros y de fácil análisis para los profesionales de ingeniería del proyecto.

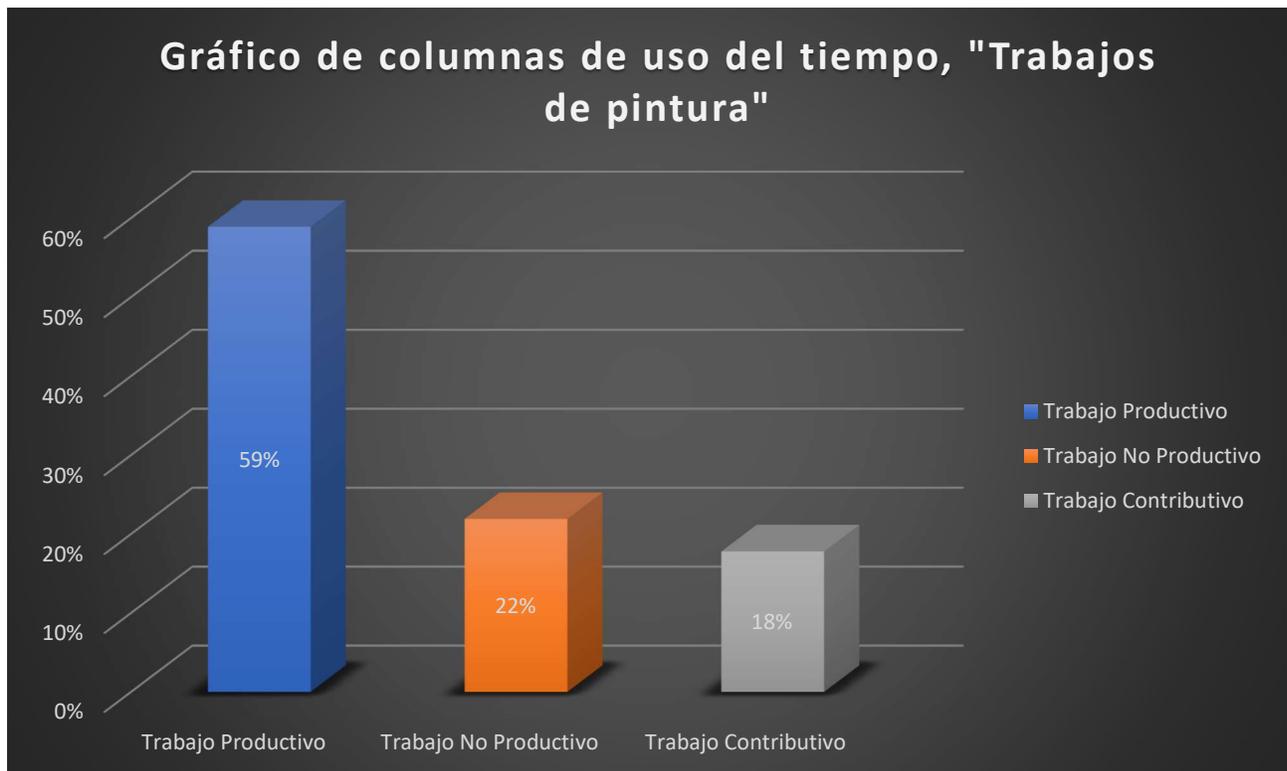
Figura 28: Gráfico circular de uso del tiempo para las cuadrillas de "trabajos de pintura"



El siguiente gráfico generado por el *software* es de columnas que suele ser más fácil de entender cuándo lo que se busca es comparar cantidades, en este caso las distribuciones generales de la productividad. De igual forma, este tipo de gráfico puede ser más fácil de comprender para trabajadores sin estudios de estadística como los maestros de obras o encargados.

En la Figura 29 se muestra un gráfico de columnas con los porcentajes de productividad clasificados en *trabajo productivo*, *trabajo no productivo* y *trabajo contributivo*.

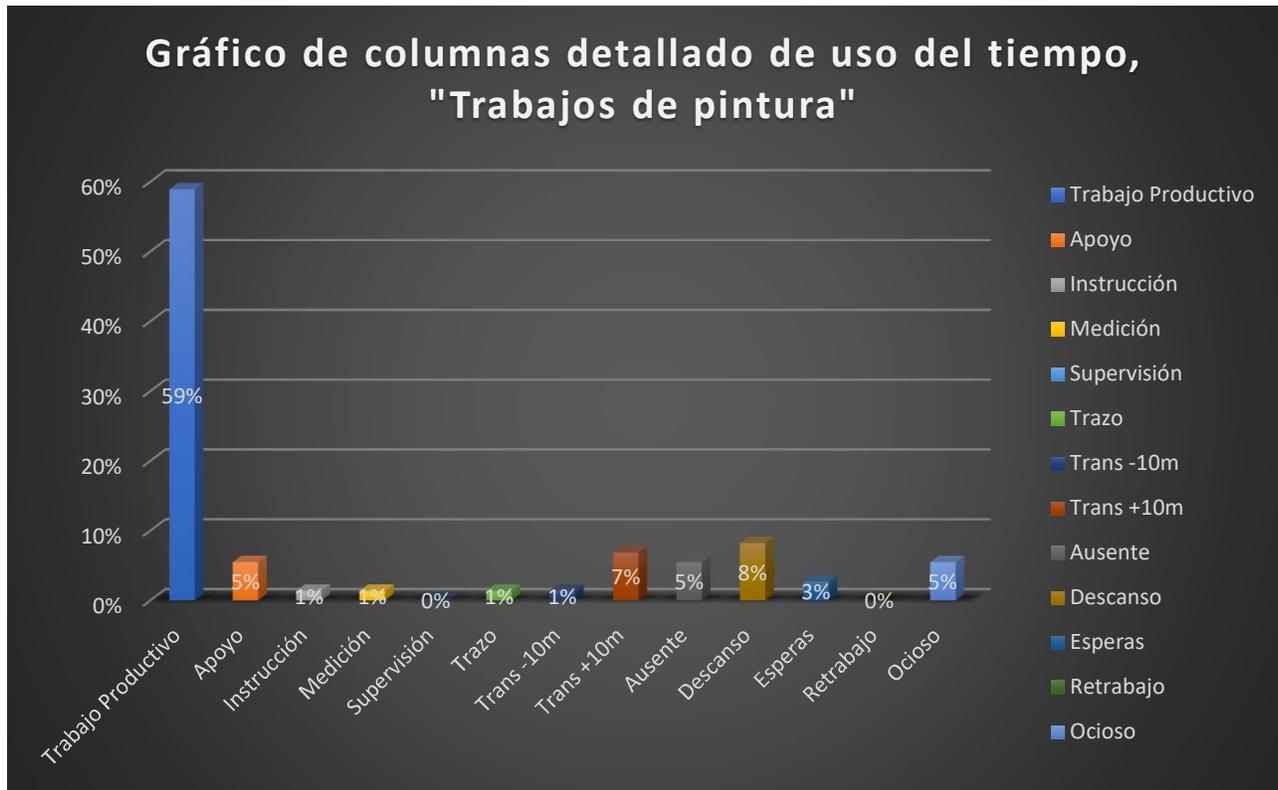
Figura 29: Gráfico de columnas de uso del tiempo para las cuadrillas de "trabajos de pintura"



Continuando con la presentación de los gráficos se tiene uno más detallado que muestra los resultados en porcentajes de cada valor subtotal. Es decir, se desglosa la actividad específica que el operario realiza durante el tiempo de 5 minutos que dura la medición. Este gráfico puede ser valioso porque presenta mucha información de una forma ordenada y permite compararla entre sí.

En la Figura 30 se muestran los valores de productividad subtotales para el proceso constructivo del que se está profundizando, obtenidos mediante mediciones en campo a las cuadrillas de trabajo correspondientes.

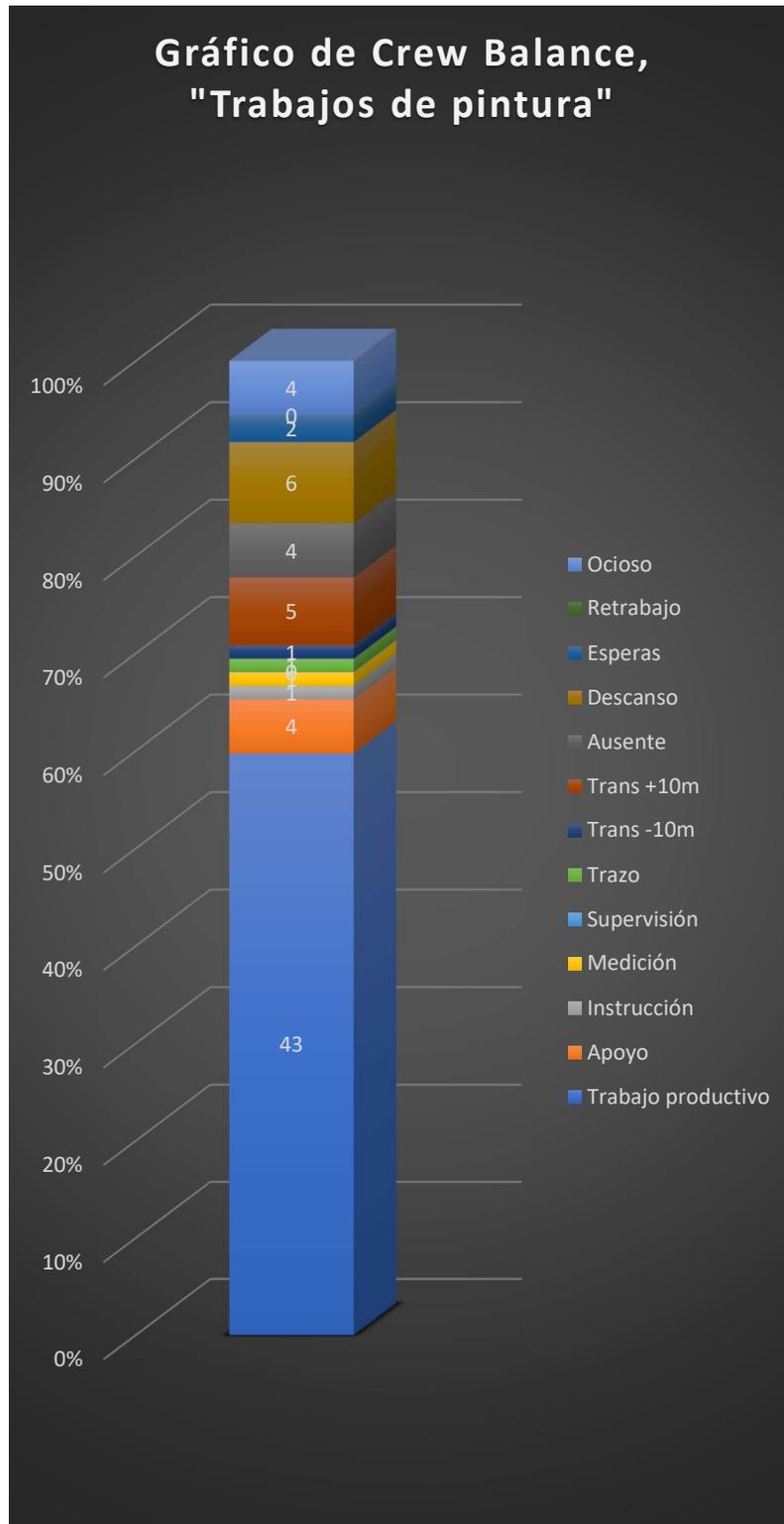
Figura 30: Gráfico de columnas detallado de uso del tiempo para las cuadrillas de “trabajos de pintura”



Finalmente, el gráfico que más se suele buscar en este tipo de estudios es el de *crew balance*. Este presenta los desgloses de los valores de productividad subtotales de forma vertical asignándole el porcentaje de tiempo correspondiente a cada actividad que el operario realiza durante la medición. Como es un gráfico que se suele trabajar con frecuencia, este permite que parte de los ingenieros de un proyecto estén familiarizados con su uso.

En la Figura 31 se presenta el gráfico de *crew balance* para el proceso constructivo del que se presentan los resultados. Los resultados que se muestran en este gráfico se obtuvieron mediante horas de mediciones de productividad en sitio, procesadas para dar los resultados que se muestran a continuación.

Figura 31: Gráfico de Crew Balance para las cuadrillas de "trabajos de pintura"



3.3.2.2 Colocación de silicón en juntas

En el Cuadro 12 se muestra el resumen de los resultados de las mediciones de productividad de la mano de obra para el proceso constructivo de *colocación de silicón en juntas*, que se lleva a cabo por cuadrillas de la empresa Roswell Drywall.

Cuadro 12: Resumen de datos que se obtienen en mediciones

Resumen de datos obtenidos en mediciones													
Total de muestras	Trabajo Productivo	Trabajo Contributivo							Trabajo No Productivo				
49		Apoyo	Instrucción	Medición	Supervisión	Trazo	Trans -10m	Trans +10m	Ausente	Descanso	Esperas	Retrabajo	Ocioso
Subtotales	38	2	1	0	0	1	1	0	2	2	0	0	2
Porcentajes	78%	4%	2%	0%	0%	2%	2%	0%	4%	4%	0%	0%	4%
Totales	38	5							6				
Porcentajes totales	78%	10%							12%				

A continuación, en el Cuadro 13 se presenta la tabla de distribución de tiempos totales que resume la información más general sobre la productividad de las cuadrillas, en este caso de la empresa *Roswell Drywall* en el proceso constructivo de *colocación de silicón en juntas*.

Cuadro 13: Distribución de tiempos totales

Distribución de tiempos totales		
Trabajo Productivo	Trabajo No Productivo	Trabajo Contributivo
38	6	5
78%	12%	10%

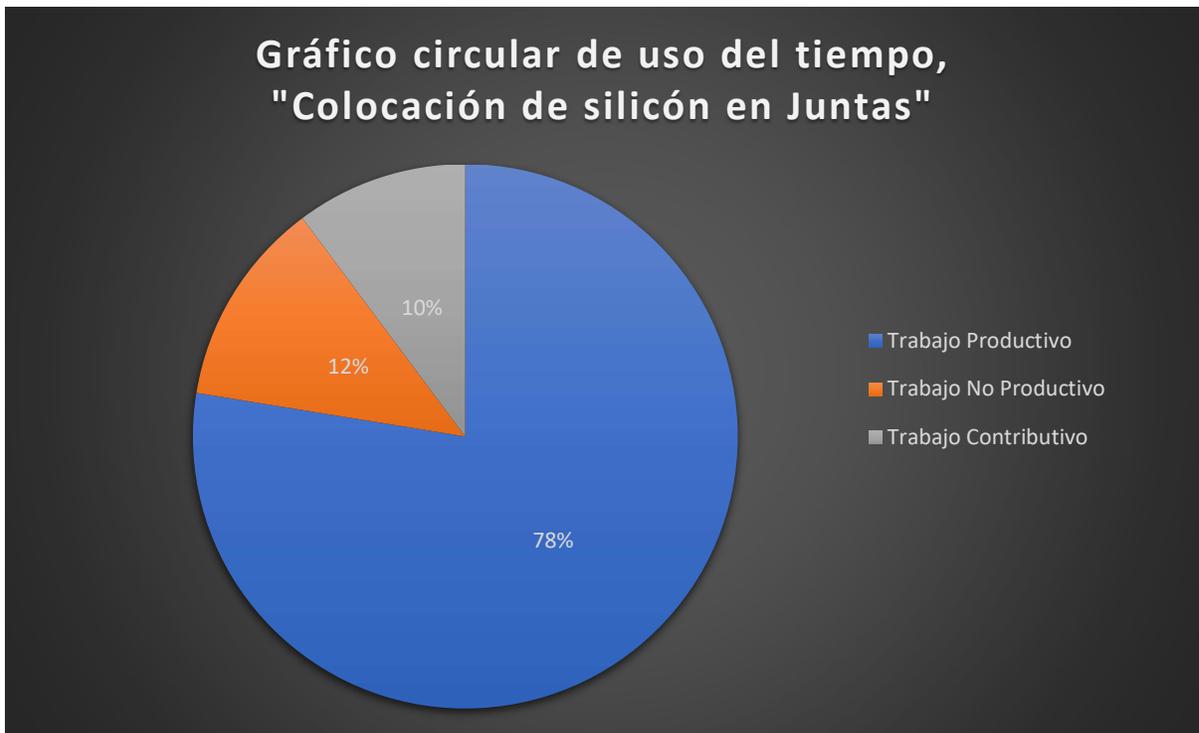
Posteriormente, en el Cuadro 14 se presenta la tabla de distribución de tiempos subtotales que presenta la información de una forma desglosada sobre la productividad de las cuadrillas, en este caso de la empresa Roswell Drywall en el proceso constructivo antes descrito.

Cuadro 14: Distribución de tiempos subtotales

Distribución de tiempos subtotales	
Tipo de actividad	Repeticiones
Trabajo Productivo	38
Apoyo	2
Instrucción	1
Medición	0
Supervisión	0
Trazo	1
Trans -10m	1
Trans +10m	0
Ausente	2
Descanso	2
Esperas	0
Retrabajo	0
Ocioso	2

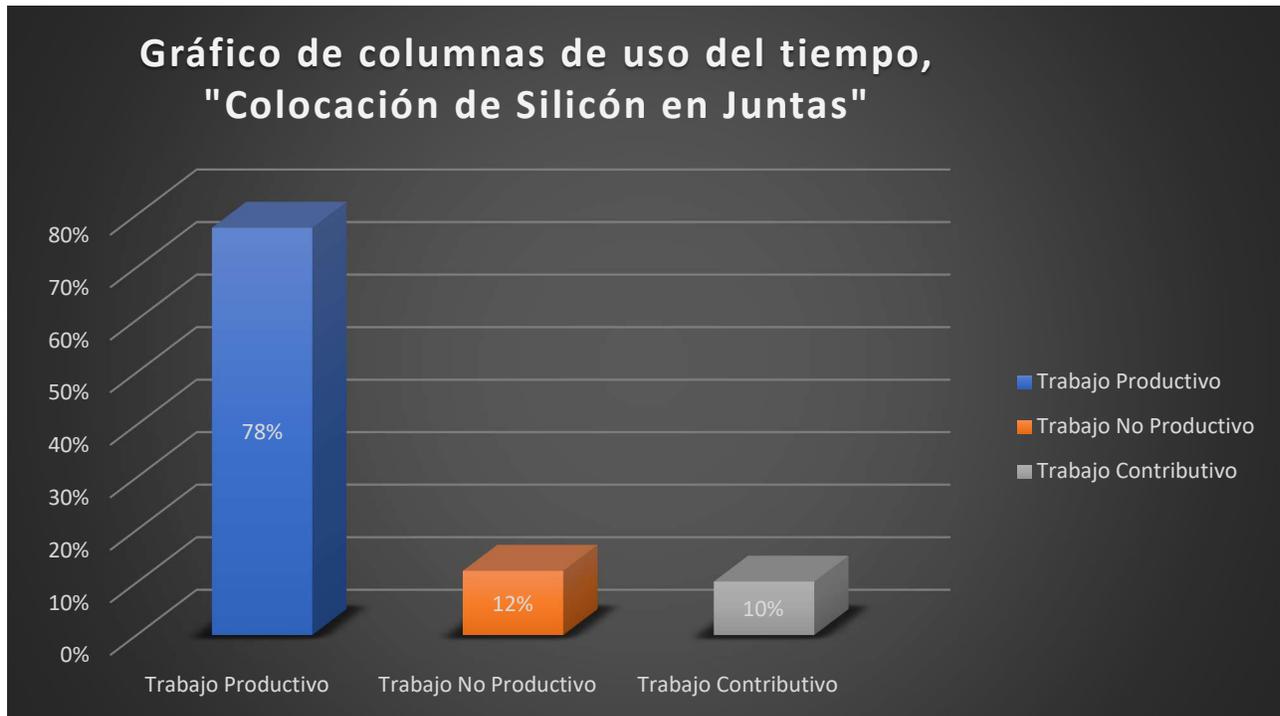
Se continúa con la Figura 32 que muestra el gráfico circular con los porcentajes del uso del tiempo totales divididos en *trabajo productivo*, *trabajo no productivo* y *trabajo contributivo*. El gráfico muestra datos claros y de fácil análisis para los profesionales de ingeniería del proyecto.

Figura 32: Gráfico circular de uso del tiempo para las cuadrillas de "colocación de silicón en juntas"



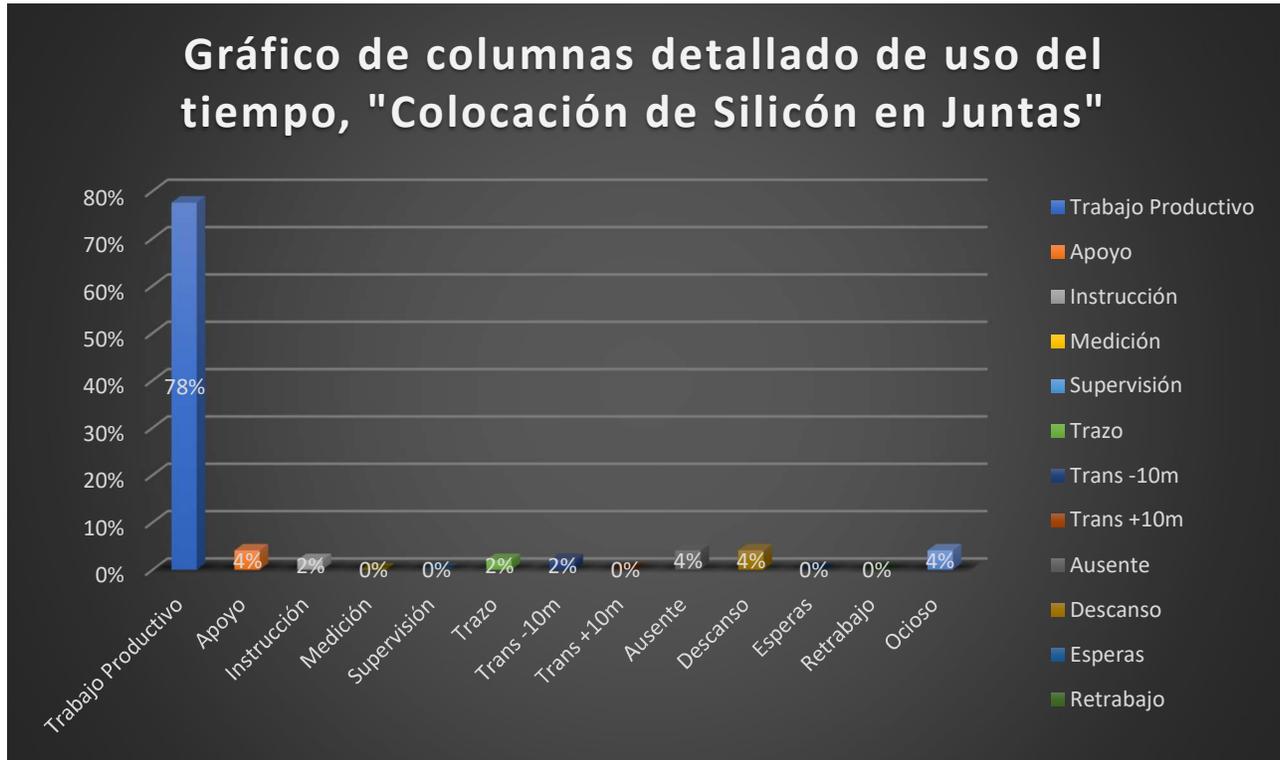
Posteriormente, en la Figura 33 se muestra un gráfico de columnas con los porcentajes de productividad clasificados en *trabajo productivo*, *trabajo no productivo* y *trabajo contributivo*.

Figura 33: Gráfico de columnas de uso del tiempo para las cuadrillas de “colocación de silicón en juntas”



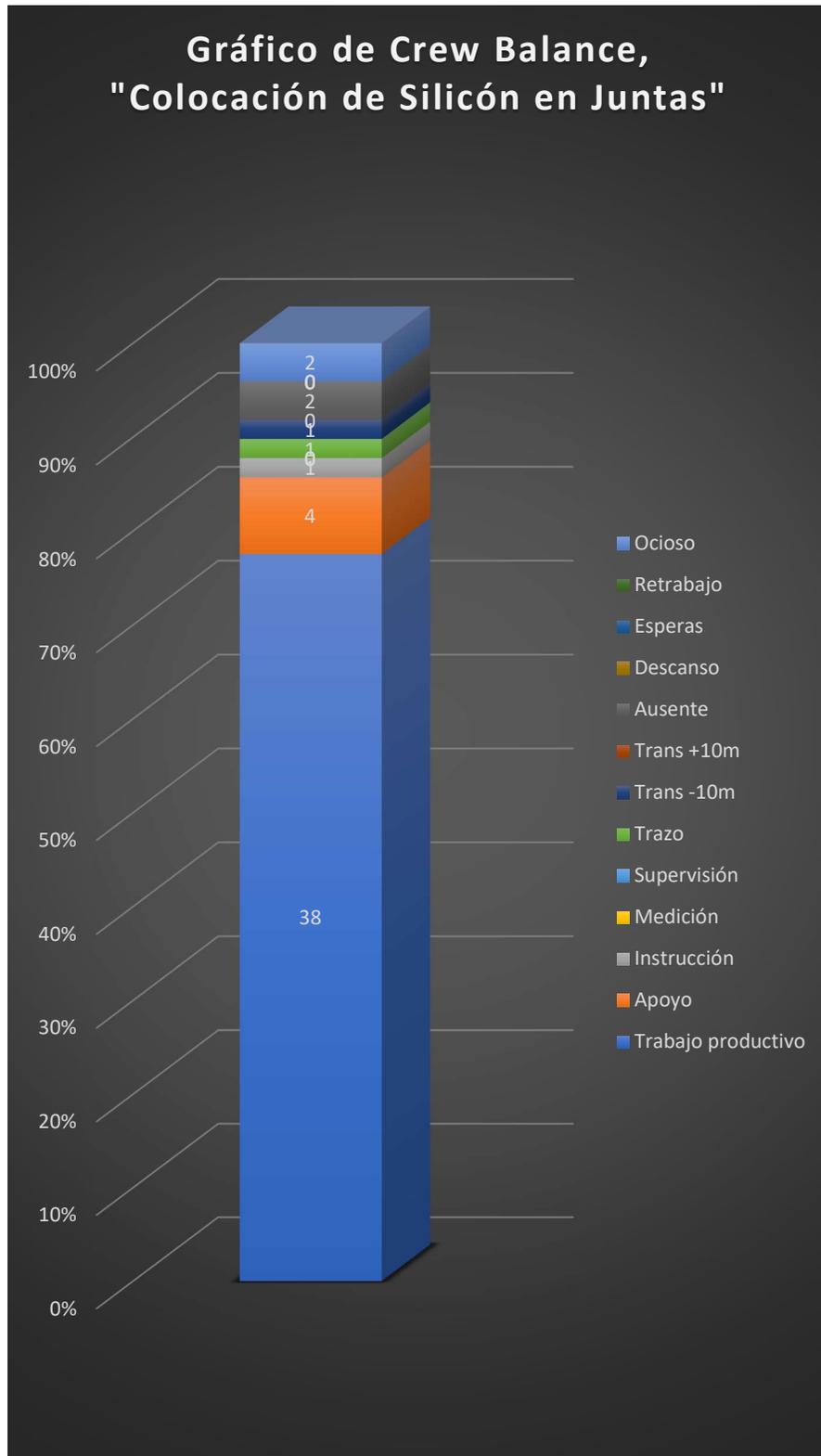
En la Figura 34 se muestran los resultados de productividad subtotales para el proceso constructivo del que se está profundizando, obtenidos mediante mediciones en campo a las cuadrillas de trabajo correspondientes.

Figura 34: Gráfico de columnas detallado de uso del tiempo para las cuadrillas de "colocación de silicón en juntas"



En la Figura 35 se presenta el gráfico de *crew balance* para el proceso constructivo del que se presentan los resultados. Los resultados que se muestran en este gráfico se obtuvieron mediante horas de mediciones de productividad en sitio, procesadas para dar los valores que se muestran a continuación.

Figura 35: Gráfico de Crew Balance para las cuadrillas de "colocación de silicón en juntas"



3.3.2.3 Instalación de puertas

En el Cuadro 15 se muestra el resumen de los resultados de las mediciones de productividad de la mano de obra para el proceso constructivo de *instalación de puertas*, que se lleva a cabo por cuadrillas de la empresa *Accesos Automáticos*.

Cuadro 15: Resumen de datos que se obtienen en mediciones

Resumen de datos obtenidos en mediciones														
Total de muestras 49	Trabajo Productivo	Trabajo Contributivo							Trabajo No Productivo					
		Apoyo	Instrucción	Medición	Supervisión	Trazo	Trans -10m	Trans +10m	Ausente	Descanso	Esperas	Retrabajo	Ocioso	
Subtotales	16	14	1	1	0	1	0	0	0	12	1	1	6	
Porcentajes	33%	29%	2%	2%	0%	2%	0%	0%	0%	24%	2%	2%	12%	
Totales	16	17							20					
Porcentajes totales	33%	35%							41%					

En el Cuadro 16 se presenta la tabla de distribución de tiempos totales que resume la información más general sobre los resultados de las cuadrillas, en este caso de la empresa *Accesos Automáticos* en el proceso constructivo de *instalación de puertas*.

Cuadro 16: Distribución de tiempos totales

Distribución de tiempos totales		
Trabajo Productivo	Trabajo No Productivo	Trabajo Contributivo
16	20	17
33%	41%	35%

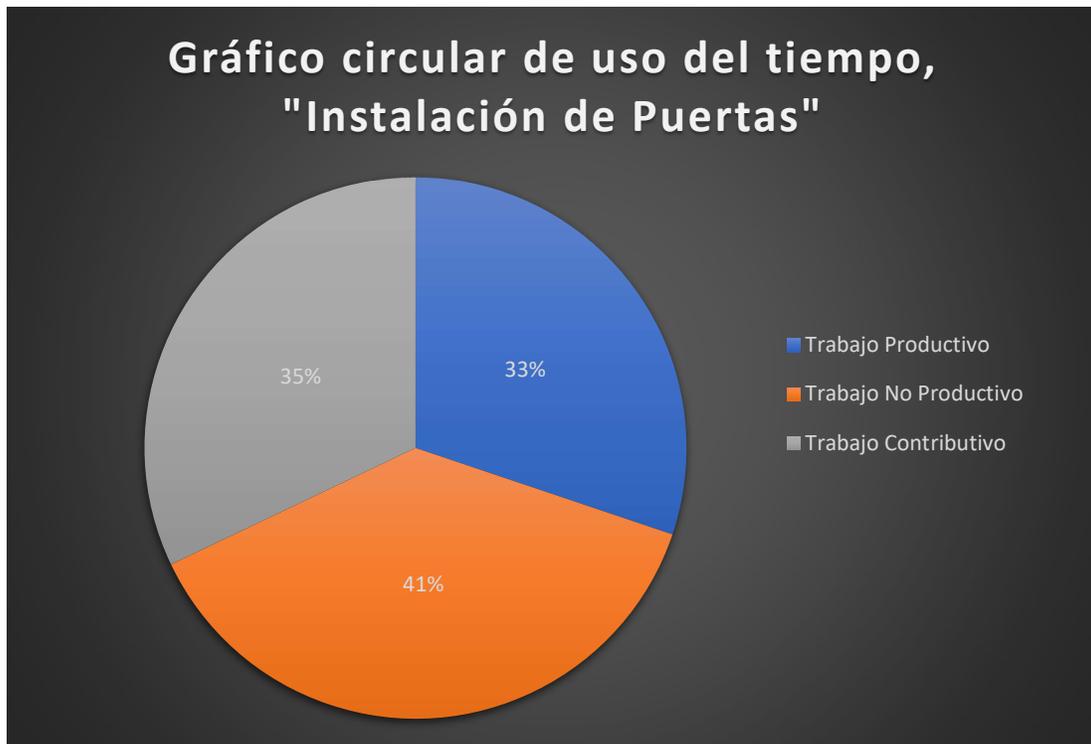
Posteriormente, en el Cuadro 17 se presenta la tabla de distribución de tiempos subtotales que presenta la información de una forma desglosada sobre los usos del tiempo de las cuadrillas, en este caso de la empresa *Accesos Automáticos* en el proceso constructivo antes descrito.

Cuadro 17: Distribución de tiempos subtotales

Distribución de tiempos subtotales	
Tipo de actividad	Repeticiones
Trabajo Productivo	16
Apoyo	14
Instrucción	1
Medición	1
Supervisión	0
Trazo	1
Trans -10m	0
Trans +10m	0
Ausente	0
Descanso	12
Esperas	1
Retrabajo	1
Ocioso	6

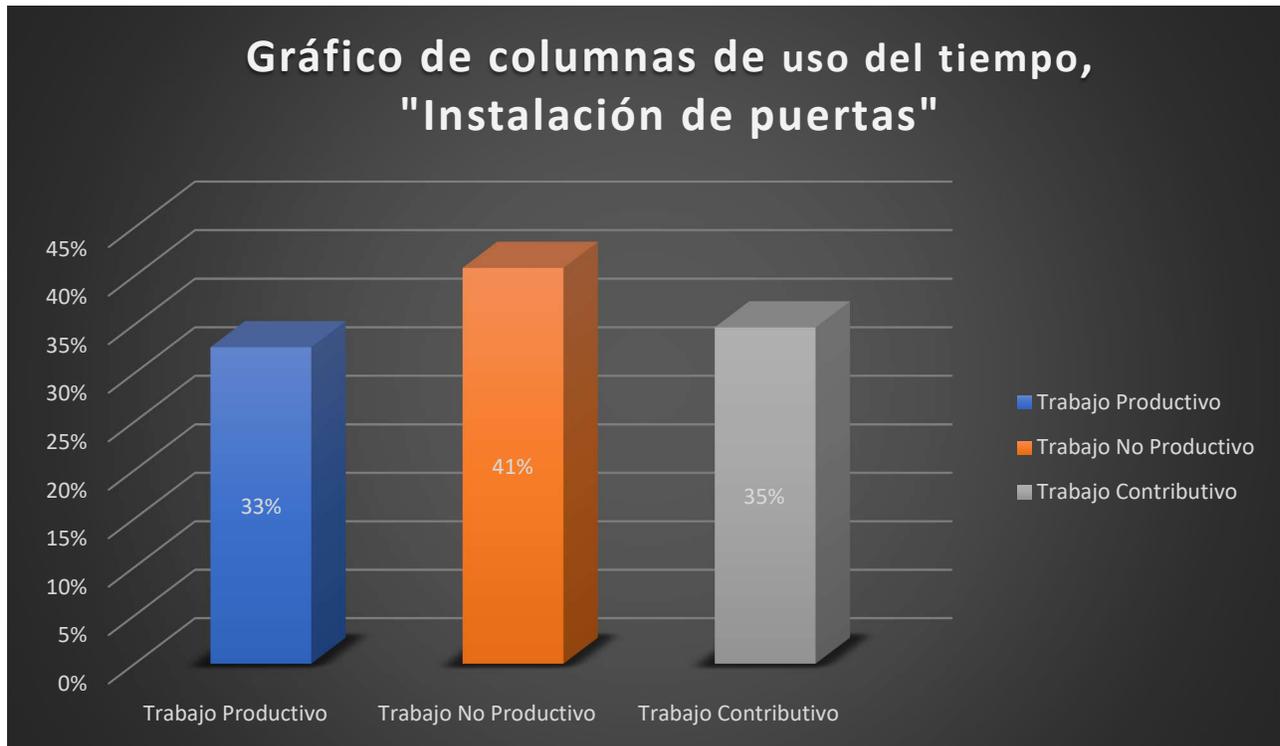
Se continúa con la Figura 36 que muestra el gráfico circular con los porcentajes del uso del tiempo totales divididos en *trabajo productivo*, *trabajo no productivo* y *trabajo contributivo*. El gráfico muestra datos claros y de fácil análisis para los profesionales de ingeniería del proyecto.

Figura 36: Gráfico circular de uso del tiempo para las cuadrillas de "instalación de puertas"



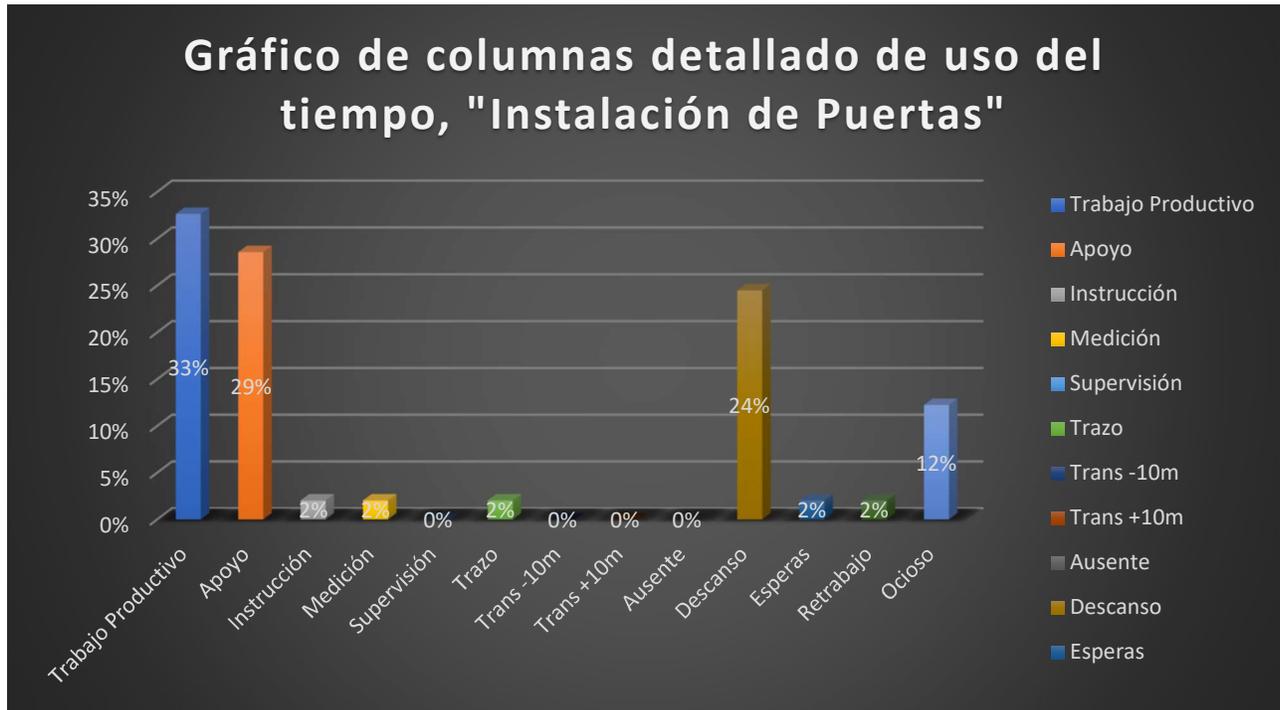
Posteriormente, en la Figura 37 se muestra un gráfico de columnas con los porcentajes de productividad clasificados en *trabajo productivo*, *trabajo no productivo* y *trabajo contributivo*.

Figura 37: Gráfico de columnas de uso del tiempo para las cuadrillas de "instalación de puertas"



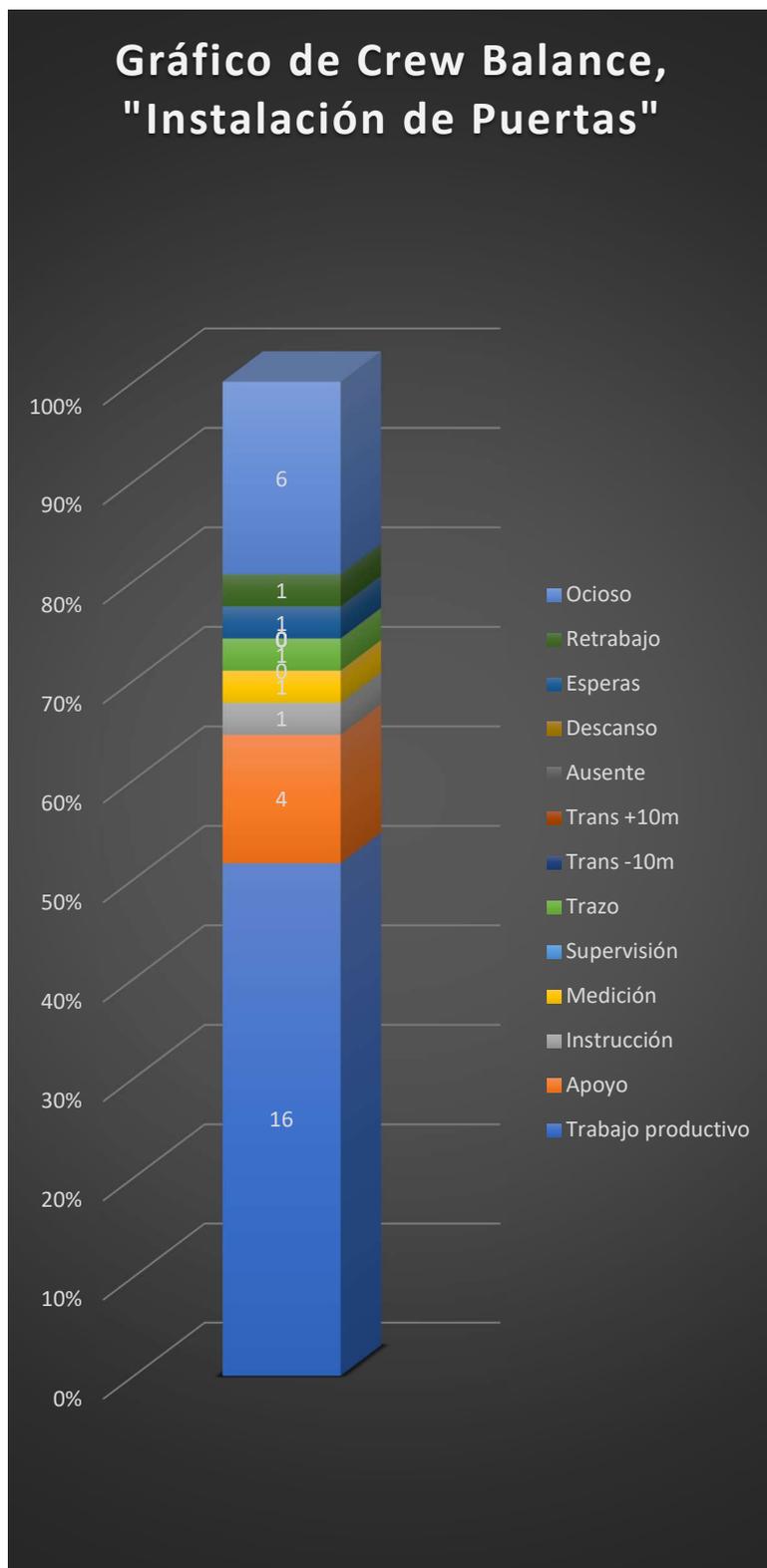
En la Figura 38 se muestran los resultados de productividad subtotales para el proceso constructivo del que se está profundizando, obtenidos mediante mediciones en campo a las cuadrillas de trabajo correspondientes.

Figura 38: Gráfico de columnas detallado de uso del tiempo para las cuadrillas de "instalación de puertas".



En la Figura 39 se presenta el gráfico de *crew balance* para el proceso constructivo del que se presentan los resultados. Los resultados que se muestran en este gráfico se obtuvieron mediante horas de mediciones de productividad en sitio, procesadas para dar los valores que se muestran a continuación.

Figura 39: Gráfico de Crew Balance para las cuadrillas de "instalación de puertas"



3.3.2.4 Perforación de paneles de cuarto limpio

En el Cuadro 18 se muestra el resumen de los resultados de las mediciones de productividad de la mano de obra para el proceso constructivo de *perforación de paneles de cuarto limpio*, que se lleva a cabo por cuadrillas de la empresa Scala.

Cuadro 18: Resumen de datos que se obtienen en mediciones

Resumen de datos obtenidos en mediciones													
Total de muestras	Trabajo Productivo	Trabajo Contributivo							Trabajo No Productivo				
73		Apoyo	Instrucción	Medición	Supervisión	Trazo	Trans -10m	Trans +10m	Ausente	Descanso	Esperas	Retrabajo	Ocioso
Subtotales	28	18	4	1	1	0	0	1	2	9	1	1	7
Porcentajes	38%	25%	5%	1%	1%	0%	0%	1%	3%	12%	1%	1%	10%
Totales	28	25							20				
Porcentajes totales	38%	34%							27%				

En el Cuadro 19 se presenta la tabla de distribución de tiempos totales que resume la información más general sobre los usos del tiempo de las cuadrillas, en este caso de la empresa Scala en el proceso constructivo de *perforación de paneles de cuarto limpio*.

Cuadro 19: Distribución de tiempos totales

Distribución de tiempos totales		
Trabajo Productivo	Trabajo No Productivo	Trabajo Contributivo
28	20	25
38%	27%	34%

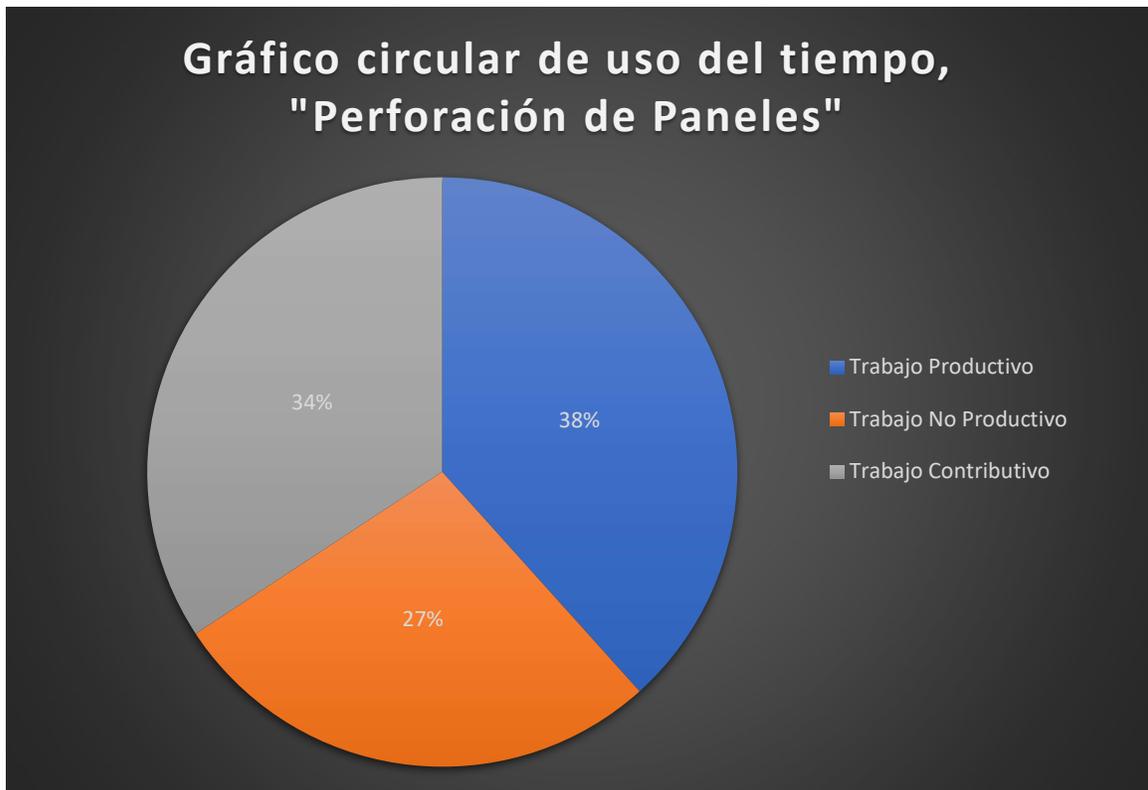
Posteriormente, en el Cuadro 20 se presenta la tabla de distribución de tiempos subtotales que presenta la información de una forma desglosada sobre la productividad de las cuadrillas, en este caso de la empresa Scala en el proceso constructivo antes descrito.

Cuadro 20: Distribución de tiempos subtotales

Distribución de tiempos subtotales	
Tipo de actividad	Repeticiones
Trabajo Productivo	28
Apoyo	18
Instrucción	4
Medición	1
Supervisión	1
Trazo	0
Trans -10m	0
Trans +10m	1
Ausente	2
Descanso	9
Esperas	1
Retrabajo	1
Ocioso	7

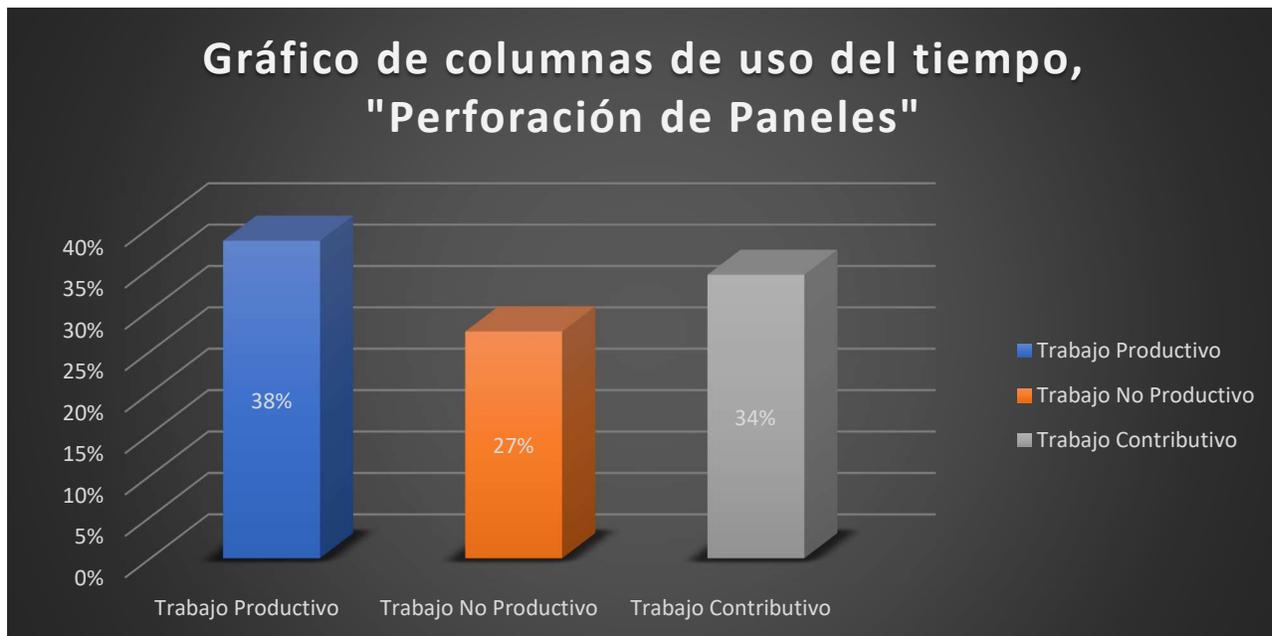
Se continúa con la Figura 40 que muestra el gráfico circular con los porcentajes del uso del tiempo totales divididos en *trabajo productivo*, *trabajo no productivo* y *trabajo contributivo*. El gráfico muestra datos claros y de fácil análisis para los profesionales de ingeniería del proyecto.

Figura 40: Gráfico circular de uso del tiempo para las cuadrillas de "perforación de paneles"



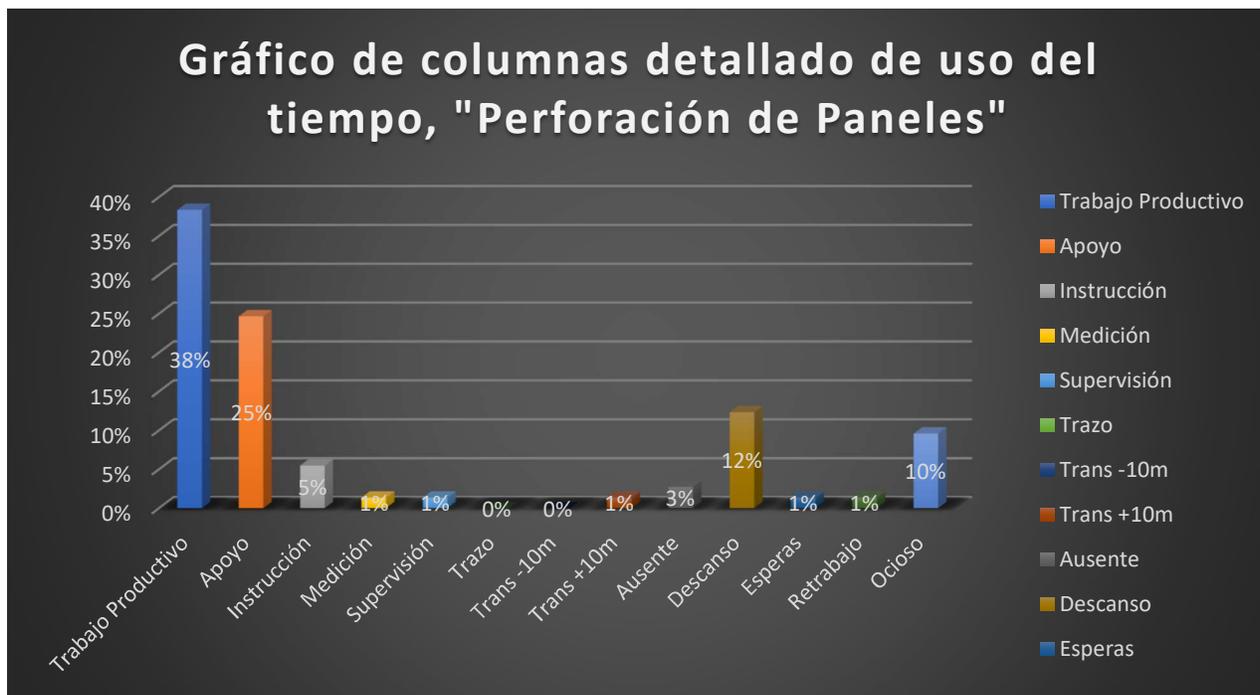
Posteriormente, en la Figura 41 se muestra un gráfico de columnas con los porcentajes de productividad clasificados en *trabajo productivo*, *trabajo no productivo* y *trabajo contributivo*.

Figura 41: Gráfico de columnas de uso del tiempo para las cuadrillas de "perforación de paneles"



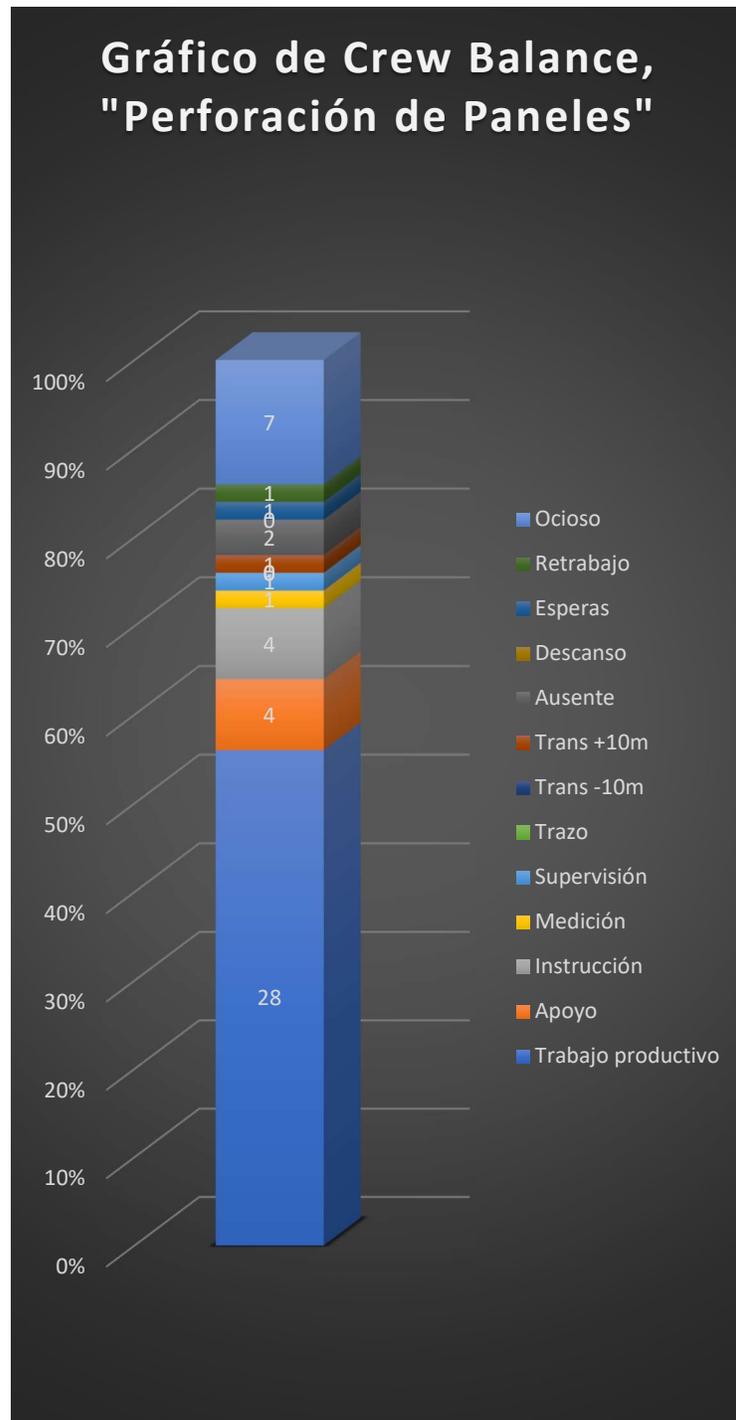
En la Figura 42 se muestran los valores de productividad subtotales para el proceso constructivo del que se está profundizando, obtenidos mediante mediciones en campo a las cuadrillas de trabajo correspondientes.

Figura 42: Gráfico de columnas detallado de uso del tiempo para las cuadrillas de "perforación de paneles"



En la Figura 43 se presenta el gráfico de *crew balance* para el proceso constructivo del que se presentan los resultados. Los resultados que se muestran en este gráfico se obtuvieron mediante horas de mediciones de productividad en sitio, procesadas para dar los valores que se muestran a continuación.

Figura 43: Gráfico de Crew Balance para las cuadrillas de "perforación de paneles"



3.3.2.5 Colocación de piso epóxico

En el Cuadro 21 se muestra el resumen de los resultados de las mediciones de productividad de la mano de obra para el proceso constructivo de *colocación de piso epóxico*, que se lleva a cabo por cuadrillas de la empresa Novatec.

Cuadro 21: Resumen de datos que se obtienen en mediciones

Resumen de datos obtenidos en mediciones													
Total de muestras 109	Trabajo Productivo	Trabajo Contributivo							Trabajo No Productivo				
		Apoyo	Instrucción	Medición	Supervisión	Trazo	Trans -10m	Trans +10m	Ausente	Descanso	Esperas	Retrabajo	Ocioso
Subtotales	55	8	2	1	2	4	1	1	1	14	6	0	15
Porcentajes	50%	7%	2%	1%	2%	4%	1%	1%	1%	13%	6%	0%	14%
Totales	55	19							36				
Porcentajes totales	50%	17%							33%				

En el Cuadro 22 se presenta la tabla de distribución de tiempos totales que resume la información más general sobre los usos del tiempo de las cuadrillas, en este caso de la empresa Novatec en el proceso constructivo de *colocación de piso epóxico*.

Cuadro 22: Distribución de tiempos totales

Distribución de tiempos totales		
Trabajo Productivo	Trabajo No Productivo	Trabajo Contributivo
55	36	19
50%	33%	17%

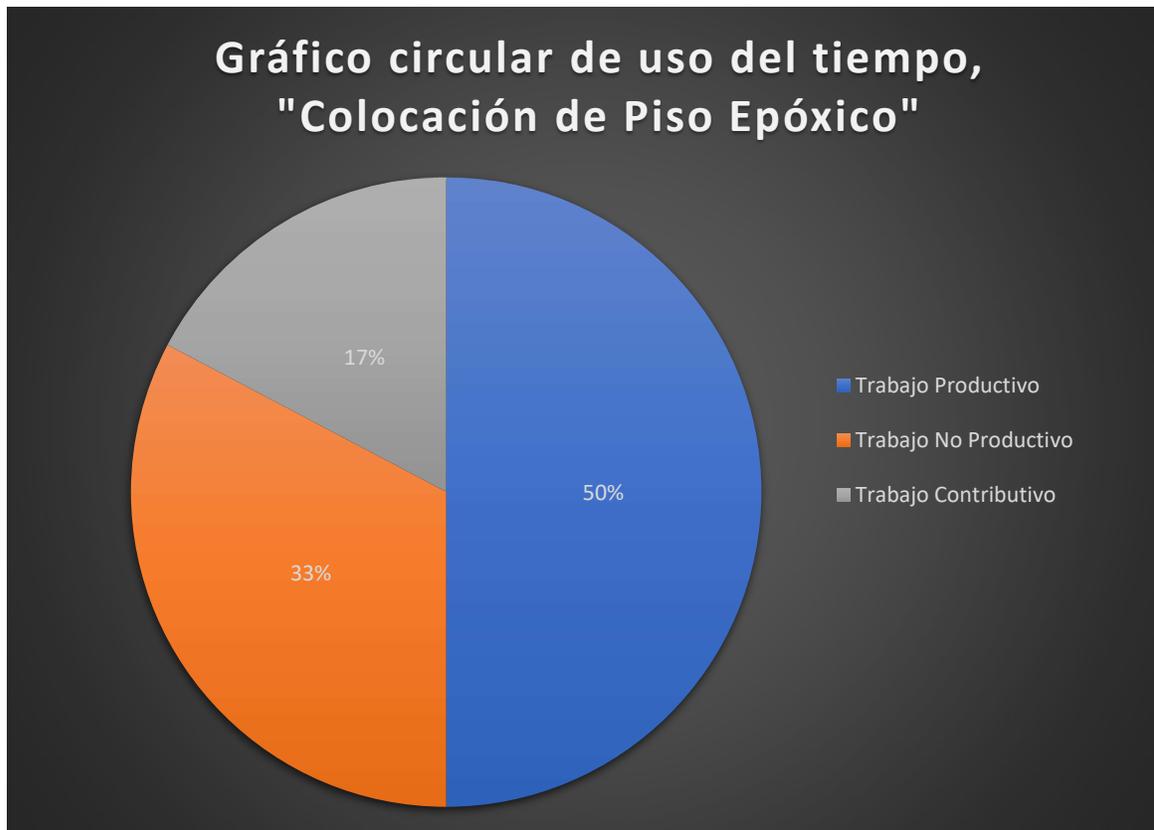
Posteriormente, en el Cuadro 23 se presenta la tabla de distribución de tiempos subtotales que presenta la información de una forma desglosada sobre la productividad de las cuadrillas, en este caso de la empresa Novatec en el proceso constructivo antes descrito.

Cuadro 23: Distribución de tiempos subtotales

Distribución de tiempos subtotales	
Tipo de actividad	Repeticiones
Trabajo Productivo	55
Apoyo	8
Instrucción	2
Medición	1
Supervisión	2
Trazo	4
Trans -10m	1
Trans +10m	1
Ausente	1
Descanso	14
Esperas	6
Retrabajo	0
Ocioso	15

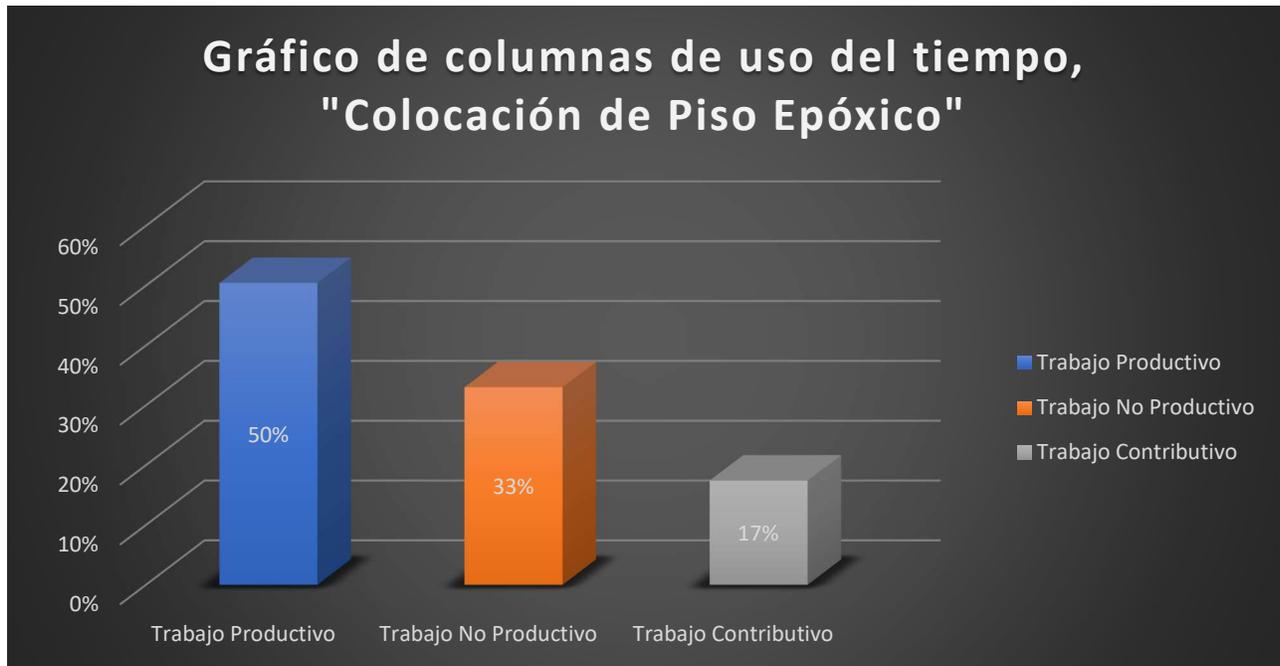
Se continúa con la Figura 44 que muestra el gráfico circular con los porcentajes del uso del tiempo totales divididos en *trabajo productivo*, *trabajo no productivo* y *trabajo contributivo*. El gráfico muestra datos claros y de fácil análisis para los profesionales de ingeniería del proyecto.

Figura 44: Gráfico circular de uso del tiempo para las cuadrillas de "colocación de piso epóxico"



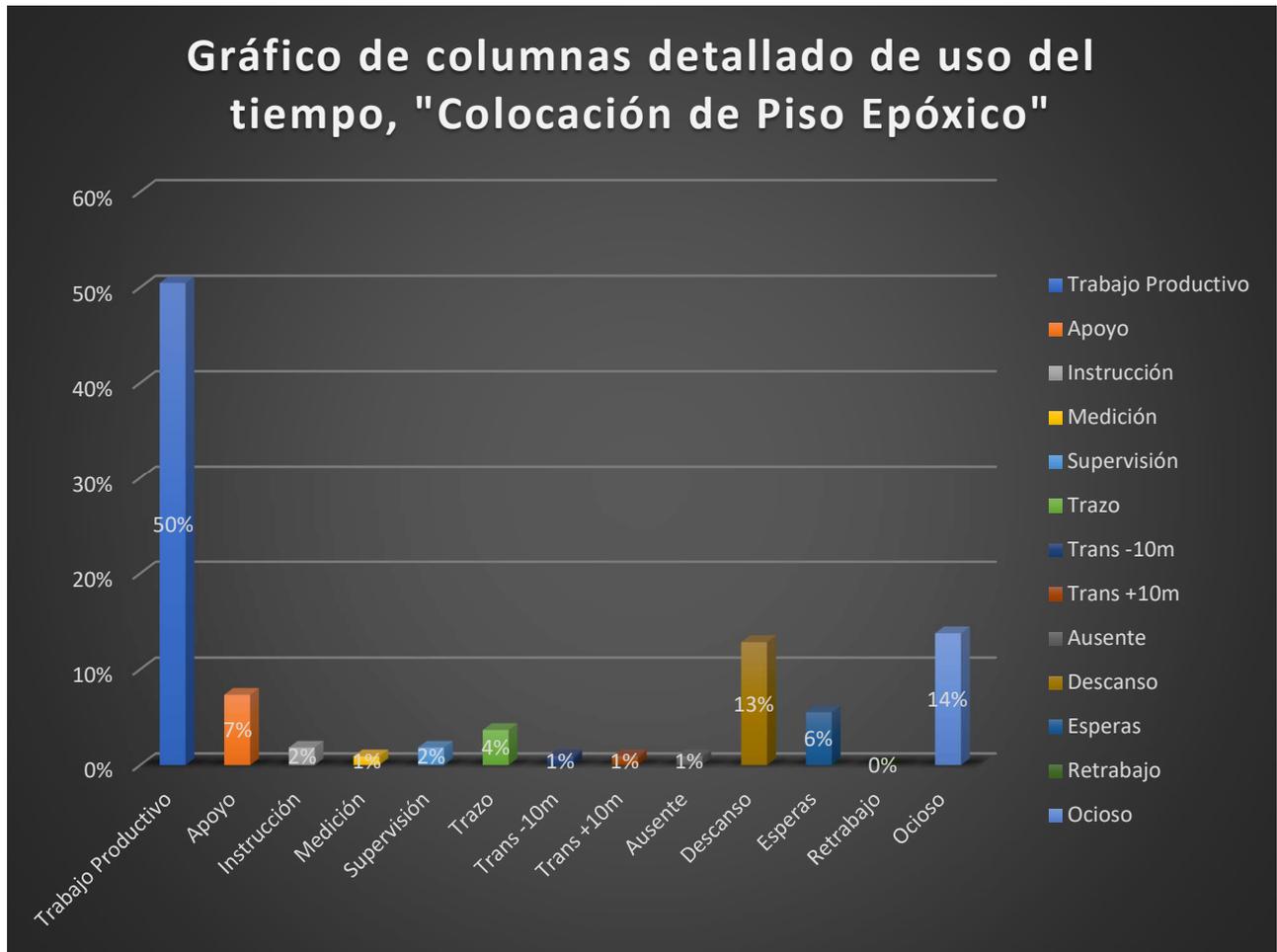
Posteriormente, en la Figura 45 se muestra un gráfico de columnas con los porcentajes de productividad clasificados en *trabajo productivo*, *trabajo no productivo* y *trabajo contributivo*.

Figura 45: Gráfico de columnas de uso del tiempo para las cuadrillas de "colocación de piso epóxico"



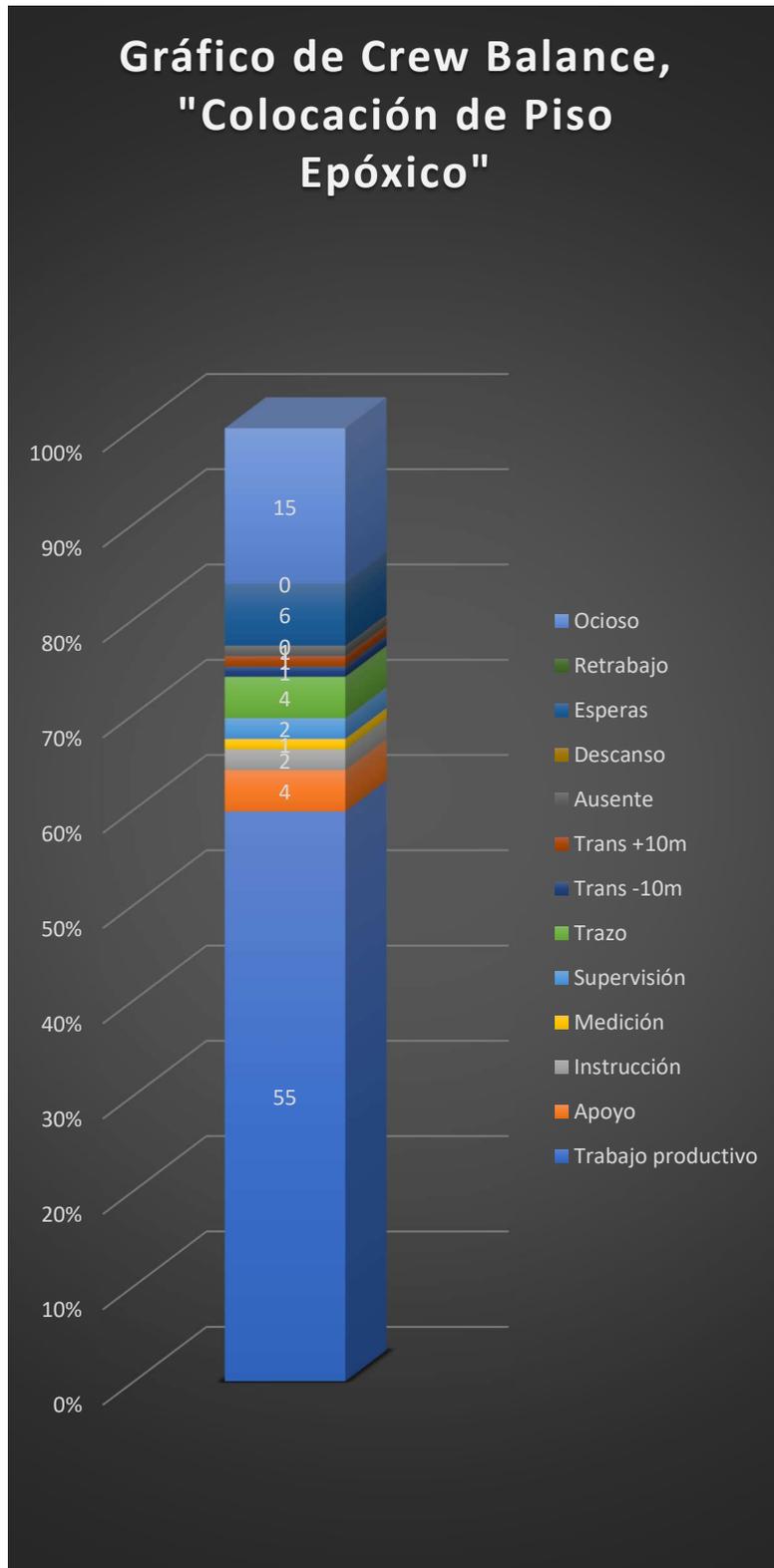
En la Figura 46 se muestran los tiempos subtotales para el proceso constructivo del que se está profundizando, obtenidos mediante mediciones en campo a las cuadrillas de trabajo correspondientes.

Figura 46: Gráfico de columnas de uso del tiempo para las cuadrillas de "colocación de piso epóxico"



En la Figura 47 se presenta el gráfico de *crew balance* para el proceso constructivo del que se presentan los resultados. Los resultados que se muestran en este gráfico se obtuvieron mediante horas de mediciones de productividad en sitio, procesadas para dar los valores que se muestran a continuación.

Figura 47: Gráfico de Crew Balance para las cuadrillas de "colocación de piso epóxico"



3.4 Análisis de brecha y propuestas de mejora

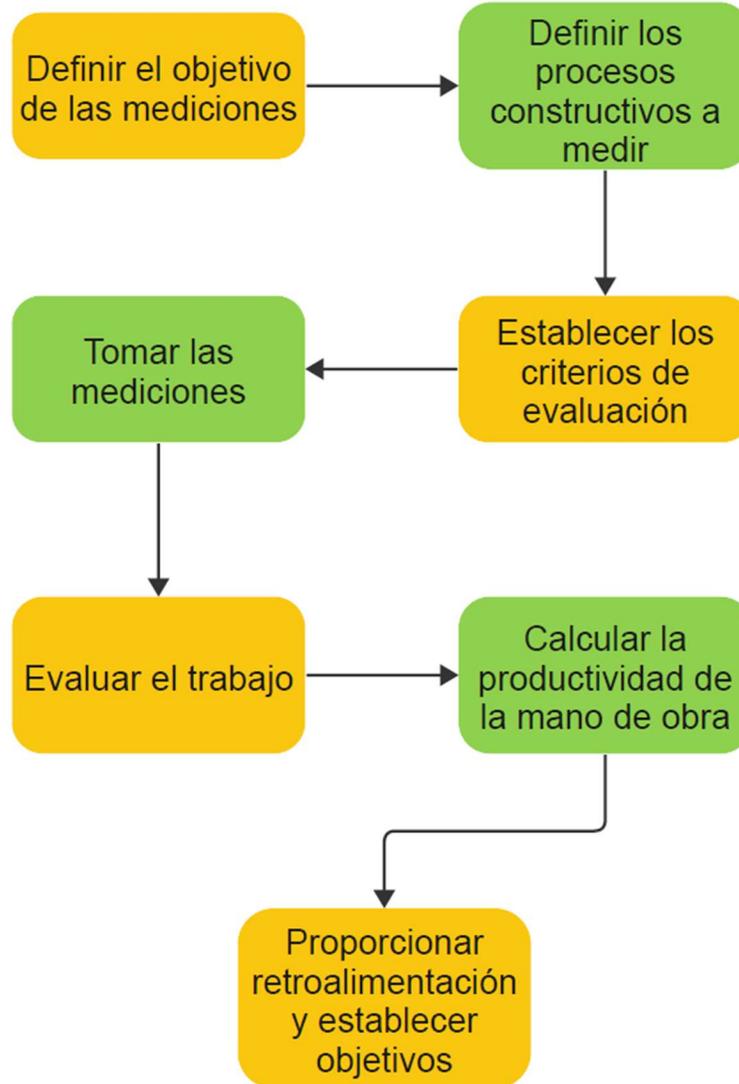
En el presente apartado del trabajo final de graduación se desarrolla un análisis de brecha que busca contrastar los resultados que se obtienen mediante los medios actuales de recolección de datos de Scala y los que se obtienen a través de mediciones en campo al utilizar el procedimiento y la herramienta de cálculo de tiempo efectivo propuesta. Recapitulando lo que es un análisis de brecha (también conocido como análisis de *gap*), esta es una herramienta que se utiliza para dos estados distintos a lo interno de una empresa, como: comparar un escenario real contra uno supuesto o comparar un escenario pasado contra uno presente.

En el caso del presente análisis de brecha lo que se comparan son los resultados de uso del tiempo de la forma actual en que los obtiene Scala contra los resultados que se obtienen mediante la implementación de un método y una herramienta propuesta para mejorar la exactitud de la información obtenida. Se pretende identificar las diferencias (o brechas) entre estos dos estados y establecer un plan de acción para cerrarlas.

3.4.1 Diagrama de flujo del proceso propuesto

A continuación, se presenta en la Figura 48 el diagrama de flujo con el procedimiento detallado de medición de productividad de la mano de obra. Anteriormente, en el presente trabajo se desarrolló cada paso del procedimiento propuesto, con el fin de dejar claro lo que la persona que medirá y obtendrá los resultados debe tener en cuenta y saber hacer el trabajo sin dudas que puedan prestarse para subjetividad. El procedimiento inicia desde definir los objetivos de las mediciones, pasa por las mediciones en campo y el cálculo estadístico de los tiempos efectivos y finaliza con la propuesta de opciones de mejora al equipo de ingeniería del proyecto para mejorar el desarrollo de los proyectos.

Figura 48: Diagrama de flujo del procedimiento propuesto de medición de productividad



3.4.2 Análisis de brecha de resultados

A continuación, se presenta el análisis de brecha de los resultados únicamente para el proceso constructivo de *trabajos de pintura*, ya que hacer este análisis para cada proceso constructivo presentaría resultados y posibilidades de mejora repetitivas por tratarse de procesos y cuadrillas de un mismo proyecto. Otra razón por la que se toma el proceso de *trabajos de pintura* es porque lo realizan las cuadrillas de Scala, aportando valiosa información sobre la forma de trabajar de la planilla de la empresa. El otro motivo por el que se toma este proceso constructivo para realizar el análisis de brecha es que es un proceso presente en todos los proyectos de Scala por su naturaleza.

El análisis mencionado se presenta en el Cuadro 24 que se muestra a continuación. Este contiene la clasificación de los tipos de trabajos, junto con el resultado con el método actual de la empresa para medir productividad, así como el resultado obtenido con el método propuesto para medir productividad. Al final se desarrollan los motivos de la brecha que se encuentran en anteriores columnas de la tabla.

Las brechas encontradas reflejan diferencias entre los resultados obtenidos por el método tradicional de medición y el método propuesto en el presente trabajo, por lo que el objetivo de este análisis es determinar si hay diferencias entre los resultados de ambos métodos. Si esta diferencia existe se pasa a aclarar los factores que debieron influir en que los profesionales del proyecto se alejaron de los valores reales de usos del tiempo de su mano de obra. Finalmente se buscan mejoras centralizadas a los resultados de productividad para las cuadrillas del proceso constructivo de “trabajos de pintura”, como posibilidades de mejora para la empresa.

Cuadro 24: Análisis de brecha con los resultados del proceso de "trabajos de pintura"

Análisis de brecha de resultados para "Trabajos de Pintura"							
Clasificación	Resultado con Método Actual	Resultado con Método Propuesto	¿Existe Brecha?	Tamaño de la Brecha	Motivos		
Trabajo Productivo	50%	59%	Sí, el resultado obtenido con el método propuesto es mayor que con el método actual.	9%	Percepción de pérdida de tiempo por trámites de permisos de seguridad ocupacional, los cuales son lentos de gestionar.	Se suele desperdiciar mucho tiempo en trabajos detenidos por falta de permisos de seguridad laboral, debido a que cada vez que falta un paso del protocolo se detienen las labores.	La lejanía de bodega con el proyecto presenta un inconveniente ya que toda herramienta faltante en campo debe ser transportada desde muy lejos del proyecto.
Trabajo Contributivo	25%	18%	Sí, el resultado obtenido con el método propuesto es menor que con el método actual.	7%	El trabajo contributivo es alto por la necesidad de un ayudante para muchas tareas por motivos de seguridad laboral como monitores para escaleras para trabajos en alturas.	Hay mucho tiempo contributivo por la naturaleza del proyecto que al tratarse de cuartos limpios requieren de orden e higiene mayores que en otros proyectos. Con personal haciendo burbujas para los trabajos de pintura constantemente.	Entre el personal del proyecto se tienen muchos ayudantes, los cuales no pueden realizar los trabajos de pintura de los operarios. Por lo que a los operarios en veces se les asignan ayudantes no necesarios y suben la estadística de tiempo contributivo.
Trabajo No Productivo	25%	22%	No, la brecha se considera despreciable.	3%	–	–	–

Continuando con el desarrollo del análisis de brecha se tiene el Cuadro 25 que presenta los motivos desarrollados para el *trabajo productivo* y al costado derecho la solución que se planteó a cada motivo de brecha, orientadas siempre a la mejora de los procesos de la empresa.

Cuadro 25: Soluciones para las brechas en los resultados de trabajo productivo del proceso de “trabajos de pintura”

Soluciones a las brechas encontradas para el trabajo productivo	
Causa	Solución
Percepción de pérdida de tiempo por trámites de permisos de seguridad ocupacional, los cuales son lentos de gestionar.	Coordinar mejor al personal de seguridad laboral para redistribuir la generación de permisos.
Se suele desperdiciar mucho tiempo en trabajos detenidos por falta de permisos de seguridad laboral, debido a que cada vez que falta un paso del protocolo se detienen las labores.	Mejorar y coordinar más efectivamente la inspección de los distintos frentes de trabajo para evitar contratiempos.
La lejanía de bodega con el proyecto presenta un inconveniente, ya que toda herramienta faltante en campo debe transportarse desde muy lejos en el proyecto.	Coordinar mejor los frentes de trabajo para asegurarse de que el personal ingrese toda la herramienta necesaria y suficiente para desarrollar las actividades propuestas.

De igual forma, se presenta en el Cuadro 26 los motivos de la brecha que se encuentra, en este caso para el *trabajo contributivo*, junto con la solución que se planteó para cada motivo. Asimismo, se mencionó que las propuestas de solución deben ir planteadas siempre a la mejora de los procesos de la empresa, mediante la optimización del tiempo y de los recursos.

Cuadro 26: Soluciones para las brechas en los resultados de trabajo contributivo del proceso de “trabajos de pintura”

Soluciones a las brechas encontradas para el trabajo contributivo	
Motivo	Solución
Este tipo de trabajo es muy alto por la necesidad de un ayudante para muchas tareas por motivos de seguridad laboral como monitores para escaleras para trabajos en alturas.	Coordinar para que haya menos ayudantes en el momento en el que se realizan trabajos de pintura y mientras que un trabajador está en altura con un monitor otro haga trabajos cerca del piso.
Mucho tiempo contributivo por la naturaleza del proyecto que al tratarse de cuartos limpios requieren de orden e higiene mayores que en otros proyectos. Con personal haciendo burbujas para los trabajos.	Dejar listas las burbujas que se trabajarán por ayudantes horas antes de realizar los trabajos en pintura, para evitar que los operarios pierdan tiempo realizando burbujas plásticas, lo cual es tarea de los ayudantes.
Entre el personal del proyecto se tienen muchos ayudantes, los cuales no pueden realizar los trabajos de pintura de los operarios. Por esto, a los operarios se les asignan ayudantes que a veces son más de los necesarios y suben la estadística de tiempo contributivo.	Redistribuir el personal a nivel Scala para que los ayudantes que no se aprovechan en el proyecto en estudio puedan trabajar en otros proyectos de la empresa y abrir espacio para más operarios en el proyecto.

3.4.3 Análisis de brecha de procesos

En el presente apartado se detalla en el Cuadro 27 el análisis de brecha realizado para los procedimientos de medición con base en los criterios definidos en el diagrama de flujo con el paso a paso para la medición de productividad presentado. Con esto se busca contrastar el proceso actual de medición de productividad de la empresa contra el proceso propuesto de medición de productividad, para lo cual se define la columna de *brecha*. En la última columna se detallan las mejoras del procedimiento de medición propuesto ante el método tradicional que se desarrolla actualmente en la compañía.

Cuadro 27: Análisis de brecha entre los procesos de medición de productividad

	Actual	Propuesto	Brecha	Mejoras
Definición de objetivo de mediciones	Se determina la necesidad de obtener el uso del tiempo de la mano de obra en el proyecto en desarrollo.	Se determina la necesidad de obtener el uso del tiempo de la mano de obra en el proyecto en desarrollo.	–	–
Definición de procesos por medir	Se definen los proyectos para los cuales es prioridad definir la productividad.	Se definen los proyectos para los cuales es prioridad definir la productividad.	–	–
Criterios de evaluación	El equipo de ingeniería del proyecto define en el momento la estrategia para conocer la productividad de la mano de obra.	Existe un proceso definido y explicado para no dedicar tiempo a acordar el proceso de medición más adecuado.	El método actual no tiene un proceso de medición de productividad definido y el método propuesto da un paso a paso para medición de productividad.	Se posee un procedimiento definido para la toma de mediciones y no se deja a criterio de cada profesional.
Obtención de mediciones	Se discute entre ingenieros el resultado de productividad que entre todos consideran más oportuno.	Se toman mediciones en campo cada 5 minutos almacenados en una matriz, mediante observación de las cuadrillas de trabajo.	En el método actual se discuten los resultados entre profesionales y se toman mediciones, mientras que en el método actual las mediciones se obtienen en campo.	Se llena una matriz en campo (que pueden llenar los asistentes), a diferencia del método anterior donde se discutían en reuniones.
Evaluación de trabajo	Se clasifica el trabajo únicamente en productivo, contributivo y no productivo.	Se clasifica el trabajo no solo en los tres usos posibles del tiempo, sino que se determinan más posibilidades de clasificación.	En el método actual las posibilidades de clasificación del tiempo son menores que en el método propuesto.	Se tiene un mayor número de clasificaciones del uso del tiempo.

	Actual	Propuesto	Brecha	Mejoras
Cálculo de implementación del tiempo	Se obtienen valores con base en la experiencia de los ingenieros del proyecto y los comentarios entre ellos.	Se calculan los usos del tiempo automáticamente a partir de los valores que se introdujeron a la matriz, mediante una herramienta programada.	En el método actual se obtienen la productividad con base en la experiencia de los ingenieros mientras que en el método propuesto se obtiene la productividad mediante cálculos estadísticos y gráficas automatizadas.	Se trabaja con cálculos automatizados, por lo que los resultados tienen certeza de ser precisos, a diferencia de cálculos hechos a mano.
Retroalimentación	Los resultados al obtenerse por criterio profesional no suelen utilizarse para tomar decisiones sobre el rumbo del proyecto.	Que las mediciones sean exactas y obtenidas en campo le permite al equipo de ingeniería estar seguro en el momento de tomar decisiones sobre el proyecto.	El método actual da mayor cabida al error por tratarse de decisiones humanas mientras que el método propuesto permite tomas de decisiones más arriesgadas por existir certeza y respaldo de los datos.	Se pueden tomar decisiones con más potestad porque hay evidencia de las mediciones y se sabe que los cálculos realizados son estadísticamente precisos.

Capítulo 4: Análisis de los resultados

El presente capítulo tiene como objetivo presentar un análisis sobre los datos recopilados durante la investigación. Lo anterior tiene el fin de llegar a conclusiones significativas y relevantes. El análisis de resultados es esencial en la investigación, ya que permite interpretar y explicar los hallazgos que se obtienen y se detallan en el capítulo de *resultados*.

Como se ha planteado en el presente trabajo la construcción es una industria que emplea a un gran número de personas. Por lo tanto, la productividad de la mano de obra es un tema crucial para la productividad y la rentabilidad de los proyectos. El análisis de resultados desarrollado incluye una discusión detallada de los hallazgos que se obtienen y cómo estos se relacionan con la literatura existente sobre el tema. El objetivo de esta sección es explicar los resultados en detalle y proporcionar una interpretación clara de lo que significan.

4.1 Análisis actual de los usos del tiempo de la mano de obra en distintos procesos constructivos

En la sección de resultados lo primero que se desarrolló fue el análisis actual de la medición de productividad en Scala. Esto se realizó con el fin de obtener parámetros iniciales que permitieran proponer herramientas de mejora y optimización de procesos y comparar ambos métodos para asegurar que se aportan técnicas funcionales y veraces a la empresa.

Los resultados en el apartado correspondiente consisten en una serie de técnicas que la empresa utiliza para conocer la productividad de la mano de obra en sus proyectos. Este procedimiento actual de medición de productividad se basa primordialmente en la experiencia profesional de los ingenieros y maestros de obra del proyecto. Estos valores según para el fin que tuvieran pueden calcularlos el ingeniero que lo necesitaba en el momento o en casos más críticos convocar a una reunión de equipo donde se trate el tema del uso del tiempo que está teniendo el personal en el proyecto.

Este es un método tradicional de obtener la productividad de la mano de obra de un proyecto. Este método se ha utilizado por décadas y es útil, pero se debe ser coherente y ver sus puntos positivos negativos, ya que estos aspectos buenos y malos pueden variar según el contexto y la situación particular.

4.1.1 Usos del tiempo obtenidos mediante el método propuesto

A continuación, se procede con el análisis de los resultados numéricos que son obtenidos mediante el método propuesto para distintos procesos constructivos del proyecto de cuartos limpios en Edwards.

4.1.1.1 Trabajos de pintura y perforación de paneles

En la Figura 8 y en la Figura 14 respectivamente se obtuvieron resultados de productividad de la mano de obra con base en la experiencia del equipo de ingeniería y maestro de obras del proyecto para dos procesos constructivos. Al ser procesos constructivos llevados a cabo por la misma empresa se obtuvieron valores con base en la experiencia idénticos. Estos resultados de productividad arrojaron un tiempo productivo de 50 %, un tiempo *contributivo* de 25 % y un tiempo *no productivo* de 25 %. Los resultados evidencian valores optimistas de productividad en comparación con la Figura 2 que presenta una captura del libro de Serpell donde se presenta que un valor oportuno de productividad puede ser entre 20 % y 40 % de tiempo *productivo*, un tiempo *contributivo* de entre 20 % y 40 % y un tiempo *no productivo* de entre 20 % y 40 %. Por esta razón, se sabe que tener un valor de tiempo *productivo* de 50 % es optimista.

Por otro lado, las labores de tiempo *contributivo* y tiempo *no productivo* se encuentran entre el rango *esperable*. El que dichos tiempos sean positivos se puede deber a varios factores como pueden ser motivación y el orden que los ingenieros y el maestro de obras le dan a las tareas del proyecto, la dinámica entre compañeros de cuadrilla, la responsabilidad de los operarios que desempeñan las labores entre otras.

1.1.1.2 Colocación de silicón en juntas

Posteriormente, se hizo el mismo estudio presentado para el proceso constructivo de *colocación de silicón en juntas*, que lleva a cabo la empresa Roswell Drywall. Esta compañía se especializa y tiene gran experiencia en trabajos de armado de paneles de cuarto limpio. Por esta razón, fue elegida para el proyecto, además el buen trabajo de la empresa percibido por los ingenieros del proyecto se hace ver en los resultados de productividad preliminares con base en su experiencia.

Los resultados para este proceso constructivo se presentaron en la Figura 10 y demostraron un 72 % de tiempo productivo, 15 % de tiempo contributivo y 13 % de tiempo no productivo en el trabajo de los operarios. Estos resultados se basan en los criterios de la Figura 2 citada, donde un 72 % de tiempo productivo prácticamente que dobla el valor medio de productividad.

De igual forma, el tiempo contributivo y el no productivo son resultados inusualmente distintos a la media. En estos casos los resultados fueron cerca de la mitad de los resultados promedio de productividad de la mano de obra.

4.1.1.3 Instalación de puertas

El siguiente proceso en el que se midió la productividad por el método tradicional fue la *instalación de puertas* por parte de accesos automáticos y los resultados se presentan en la Figura 12. Estos resultados fueron de 45 % de tiempo productivo, 25 % de tiempo contributivo y 30 % de tiempo no productivo. Estos resultados corresponden a la media (presentada en la Figura 2) y son los más esperables. Esto quiere decir que muchas de las opciones de mejora se deben aplicar a este proceso debido al alto porcentaje de tiempo no productivo y a que este supera en valor incluso al tiempo contributivo.

4.1.1.4 Colocación de piso epóxico

El último proceso al que se le midió la productividad mediante el método tradicional fue la colocación de *piso epóxico* por parte de la empresa Novatec Industrial. Estos resultados se presentan en la Figura 18 y presentan los valores más bajos de productividad esperados, con un 45 % de tiempo productivo, un 20 % de tiempo contributivo y un 35 % de tiempo no productivo.

Estos resultados son preocupantes, ya que el valor de tiempo no productivo está arriba de la media, presentada en la Figura 2. Por esto, se refleja una sensación de desconfianza del contratista general con la

empresa subcontratada, debido a la productividad que perciben con base en su experiencia y observación. Es importante destacar que estas sensaciones personales sobre la productividad de un subcontrato pueden alterar los resultados, influenciados en factores como calidad de acabados, servicio al cliente de la compañía o capacidad comercial.

4.2 Procedimiento para la medición de productividad y obtención de clasificaciones de tiempo de la mano de obra en distintas actividades constructivas

Como resultado del procedimiento para el análisis de la productividad de la mano de obra se llegó a dos resultados principales. El primero fue el procedimiento como tal, con un paso a paso que detalla la forma en la que la persona que medirá la productividad debe seguir para estandarizar las mediciones y evitar factores como error humano o error inducido por el uso de procedimientos de análisis distintos. Por otra parte, el segundo resultado principal fue una matriz de medición de productividad que tome en cuenta diferentes factores y pueda rellenarse con el procedimiento desarrollado.

4.2.1 Procedimiento de medición de productividad y obtención de clasificaciones de tiempo

El procedimiento se consiguió mediante la integración de distintos factores que fueron de utilidad para completar una matriz funcional. Estos factores incluyen criterios profesionales de los ingenieros del proyecto, preguntas realizadas al maestro de obra del proyecto e información bibliográfica vista en el curso de diseño de procesos constructivos del Instituto Tecnológico de Costa Rica y buscada en fuentes bibliográficas externas. A continuación, se detalla la importancia de cada paso del procedimiento, junto con cómo se espera que beneficie a la obtención de productividad de la mano de obra.

4.2.1.1 Definir el objetivo de las mediciones

El objetivo de las mediciones de productividad debe definirse antes de iniciar para tener claro el objetivo del trabajo por realizar. Evidentemente, esto es importante para cualquier proceso que se pretenda llevar a cabo, pero en la productividad toma especial importancia por la necesidad que se requiere en la medición y la atención a las acciones de la mano de obra de la empresa.

Por lo tanto, se le debe definir con claridad al trabajador que medirá, que es probable que sea un asistente de ingeniería o un ingeniero recién ingresado al proyecto. Por eso, se debe explicar el porqué del trabajo que realizará, esto mejora los resultados y la eficiencia en las mediciones.

4.2.1.2 Definir los procesos constructivos por medir

Los procesos constructivos para medir dependen de las decisiones de ingeniería requeridas, por eso, a la persona que medirá se le deben proporcionar claros los procesos constructivos en los que debe enfocarse.

La productividad de un proceso constructivo varía respecto a la de otros. Esta puede variar por distintos factores, como el cansancio que los procesos implican, la cantidad de ayudantes necesarios para realizar las actividades o las empresas que realizan los procesos. Los valores de productividad que las distintas compañías manejan como usuales varían de manera significativa, por lo que para un mismo proceso no deben suponerse resultados iguales cuando se trata de empresas diferentes.

4.2.1.3 Establecer los criterios de evaluación

Los criterios de evaluación con el resultado que se presenta se ven optimizados, al ahorrar el tiempo que el equipo de ingeniería debe implementar tomando decisiones sobre la forma de medir productividad y explicando este proceso a la persona que los medirá. De la manera propuesta se logran reducir los tiempos que toma iniciar la actividad y promover la implementación de buenas prácticas en la medición del trabajo realizado por la mano de obra.

4.2.1.4 Tomar las mediciones

Con métodos tradicionales la toma de mediciones de productividad se vuelve confuso y no hay indicadores que determinen la veracidad de los datos, lo que limita directamente la posibilidad de tomar decisiones drásticas en el proyecto con base en las mediciones. Con el proceso presentado se logra tener una base de datos con las mediciones realizadas, lo que da respaldo a los resultados que se obtengan y permite tomar decisiones con potestad.

4.2.1.5 Evaluar el trabajo

Se plantea una matriz que permita evaluar el trabajo de forma estandarizada que posibilite medir la productividad con certeza y confiando en una herramienta que se perfeccione con la toma de mediciones en distintos proyectos de la empresa.

4.2.1.6 Calcular la productividad de la mano de obra

La herramienta presentada se plantea como una forma de obtener valores de productividad certeros y estandarizados de forma automática, al ahorrar tiempo y perfeccionar los resultados con las mediciones. Esto logra promover la eficiencia en el equipo de ingeniería de un proyecto al ver que al rellenar una matriz obtienen automáticamente los resultados que esperan. No hace falta que los ingenieros vean el proceso de cálculo de tiempos efectivos, incentivando la observación de la mano de obra de un proyecto y la evaluación del trabajo de esta.

4.2.1.7 Proporcionar retroalimentación y establecer objetivos

La retroalimentación se plantea más fácilmente con resultados gráficos, los cuales evidencia la herramienta proporcionada en el presente trabajo. Estos tienen componente de ingenio, por parte de los profesionales del proyecto, pero, de igual forma, con un componente automatizado que ayuda a ahorrar tiempos y esfuerzo en realizar representaciones gráficas de los resultados.

4.2.2 Matriz de medición de productividad

En la sección de resultados se mostró la Figura 20, la cual contenía la matriz de medición de productividad de la mano de obra que se enfoca en los procesos constructivos que suele desarrollar Scala en sus proyectos. Esta contiene clasificaciones que atienden a las características de los proyectos de remodelación de espacios para oficinas y construcción de cuartos limpios que desarrolla la empresa.

La matriz se generó a través de la observación de las actividades en desarrollo y preguntas a profesionales de tiempo completo del proyecto de cuartos limpios para Edwards Lifesciences. Una matriz genérica desencadenaría problemas en los resultados de las mediciones y plantear aspectos que pueden confundir a quien mide o modificar los resultados con clasificaciones confusas o innecesarias para el tipo de mercado que atiende una constructora en específico.

4.3 Herramienta para el procesamiento estadístico de las mediciones de productividad y obtención de clasificaciones de tiempo

4.3.1 Herramienta

En la sección de resultados se presenta la herramienta generada en el programa Microsoft Excel® que permite transformar los datos recolectados en la matriz que se planteó y analizó en información tabulada e información gráfica. Esto favorece el proceso de automatización y optimización del tiempo de los ingenieros de proyecto.

A la vez, esta herramienta programada permite reducir el error humano que puede existir en caso de hacer cálculos a mano por medios tradicionales como calculadoras o cálculos mentales aproximados. Al ser un proceso automatizado se realizan los cálculos con precisión absoluta y, al tratarse de un proceso que se propone como estandarización, los datos recolectados en un proyecto favorecen a tomas de decisiones en otros proyectos posteriores.

4.3.2 Resultados de mediciones

En la sección de resultados se presentaron los resultados de procesar las mediciones recolectadas en la matriz de medición de productividad de la mano de obra con la herramienta propuesta. Esta programación evidencia distintas gráficas de las cuales se analiza el gráfico circular y el gráfico de *crew balance*. Todo con énfasis en el análisis visual que permiten estas representaciones antes de que en valores numéricos.

4.3.2.1 Trabajos de pintura

En la Figura 28 se muestran los resultados del gráfico circular de medición de productividad de la mano de obra para el proceso de trabajos de pintura. Este gráfico evidencia resultados medidos en campo de productividad que se pueden comparar con los datos de la Figura 2 que da los valores *normales* de productividad de la mano de obra. Los resultados fueron en cuanto al tiempo productivo superiores a la media esperada, en cuanto a tiempo contributivo estuvieron dentro de la media esperada y en cuanto a tiempo contributivo

bajo la media. Estos resultados son considerablemente favorables, mostrando posibilidades de enfocar las opciones de mejora en otros procesos constructivos.

En la Figura 31 se presenta un gráfico de *crew balance* con los resultados para el proceso constructivo de trabajos de pintura. Este gráfico presenta un nivel de detalle mayor en cuanto a las actividades en que más se empleaba el tiempo para el proceso descrito. En la figura que se mencionó se puede ver cómo el tiempo contributivo se utilizó principalmente en transporte de objetos a una distancia mayor que 10 m. Esto puede optimizarse al acercar la bodega al sitio donde se desarrolla el proceso constructivo.

Por otro lado, la actividad no productiva en que se implementaba más tiempo era en descanso. En esto puede influir la cantidad de horas seguidas trabajando, falta de descansos durante la realización del proceso constructivo o falta de control por parte del maestro de obras sobre los operarios, dándoles ventanas para descansar más del tiempo requerido.

4.3.2.2 Perforación de paneles

El siguiente proceso constructivo medido para analizar es el de perforación de paneles de cuarto limpio, donde en la Figura 40 se ve cómo los tres tipos de trabajo, productivo, contributivo y no productivo se encuentran entre los rangos medios. Estos datos son normales, pero no dejan de tener espacio para mejora.

Posteriormente, se tiene en la Figura 43 el gráfico de *crew balance* para el proceso constructivo en análisis. Estos resultados evidenciaron que el trabajo contributivo en el que más se invirtió tiempo fue el apoyo. Esto se debe a las características del proceso constructivo, donde por tratarse de cuartos limpios las perforaciones deben realizarse con una burbuja plástica y con una aspiradora al lado del sitio donde se genera polvo. Por otra parte, el tiempo en que más se mal gastó tiempo no productivo fue el descanso y el tiempo ocioso, lo cual en mayor medida se provoca por falta de supervisión al proceso constructivo. Para corregir este aspecto se recomienda rotar las parejas de trabajo que realizan una labor y asignarlas en áreas distintas, además, se debe intentar no agrupar el personal en áreas reducidas para no incentivar las distracciones constantes entre los mismos operarios.

4.3.2.3 Colocación de silicón en juntas

El proceso constructivo de colocación de silicón en juntas presenta sus resultados de acuerdo con la Figura 32, con aspectos muy favorables que resaltar. Se presenta un tiempo productivo del doble de los valores medios esperados, esto es notable y refleja el nivel de dedicación del personal de campo de la empresa. Por otro lado, el tiempo contributivo y el tiempo no productivo son de la mitad de los valores medios. Esto da suficiente información fiable para determinar el buen trabajo del subcontrato y concentrar esfuerzos en otros subcontratos con peores resultados.

De igual forma, se procede con el análisis del gráfico de *crew balance* presentado en la Figura 35 donde se evidencia que el apoyo fue el mayor uso de tiempo contributivo. Por el pequeño porcentaje de que este representa se puede tomar como normal el tiempo invertido en apoyo. Por otro lado, el ocio, la ausencia y el descanso fueron los mayores usos de tiempo no productivo, donde solo hubo 4 % de las mediciones para cada una de las anteriores.

4.3.2.4 Instalación de puertas

Con el proceso constructivo de instalación de puertas automáticas por parte de la empresa Accesos Automáticos se tiene en la Figura 36 que los tiempos productivos, contributivos y no productivos tienen porcentajes dentro de la media. Esto es positivo, ya que los valores de productividad de la compañía sin ser notables están entre los valores estándar.

A la vez, el *crew balance* de la Figura 39 evidencia que el apoyo fue el tiempo contributivo que más se presentó, mientras que el descanso fue el tiempo no productivo que más se dio. Lo del apoyo es normal

que se dé debido a la naturaleza del proyecto donde se requiere de ayudantes para levantar cargas pesadas, monitorear escaleras u otras actividades, no obstante, el tiempo de descanso no puede ser tan elevado. Estos resultados se dan debido a que la empresa que se mencionó envía operarios sin un ingeniero directamente a instalar las puertas, lo cual ocasiona que la supervisión del personal durante la instalación de las puertas sea insuficiente, respaldado por los resultados que se presentaron.

4.3.2.5 Colocación de piso epóxico

Finalmente, la colocación de piso epóxico por parte de la empresa Novatec Industrial se muestra en la Figura 44 y presenta un tiempo productivo superior al valor medio, un tiempo contributivo equivalente a la media y un tiempo no productivo inferior al tiempo medio. Estos valores son optimistas al mirar el gráfico circular.

Posteriormente, se presenta la Figura 47 con el gráfico de *crew balance* donde el mayor porcentaje del tiempo contributivo con 7 % fue el tiempo de apoyo y el mayor porcentaje de tiempo no productivo fue el tiempo ocioso y de descanso. El porcentaje tan alto de descanso y ocio indica que se deben a la misma razón de accesos automáticos, donde la empresa solo envía a un encargado y la cuadrilla a hacer los trabajos sin ingenieros que se fijen en aspectos como la productividad y la inversión del tiempo de los trabajadores.

4.4 Análisis de brecha y propuestas de mejora

4.4.1 Análisis de brecha de resultados

En la sección de resultados se muestra el análisis de brecha de resultados con base en los datos que se recolectaron para el proceso constructivo de trabajos de pintura. Este proceso se elige debido a que es uno muy repetido en proyectos de Scala, de ahí el valor de analizarlo en profundidad. En este análisis se comparaban los resultados para el proceso constructivo analizado por el método tradicional que utiliza Scala en la actualidad, contra los resultados con el método propuesto. Lo anterior evidenció una brecha de alrededor de 10 % para los resultados del tiempo productivo y contributivo, mas no para el tiempo no productivo donde la variación entre los resultados fue despreciable.

Se llegó a una serie de motivos de las brechas y múltiples razones por las cuales el método actual, más preciso que el anterior, logra reflejar discrepancias respecto a la productividad que se obtienen de forma tradicional. Cabe destacar que la brecha obtenida no supera el 10 %, por lo que el método tradicional no dista mucho de la realidad. Esto se debe a la experiencia del personal de ingeniería y de campo de la empresa.

4.4.2 Análisis de brecha de procedimiento

En el segundo análisis de brecha se comparan los procedimientos, el tradicional contra el propuesto, tomando en cuenta distintos factores del proceso de obtención de productividad. Después, se estableció cualitativamente la forma en la que se define cada paso con cada uno de los métodos.

Se implementó como paso a paso el propuesto para medir la productividad, generado en el presente trabajo. Con esto se obtuvo que la “definición de objetivo de mediciones” y la “definición de procesos a medir” no presentaron brecha. Pero por otro lado en los pasos siguientes los cuales son: “criterios de evaluación”, “obtención de mediciones”, “evaluación de trabajo”, “cálculo de los usos del tiempo” y “retroalimentación, hubo una brecha derivada de la naturaleza de cada método.

Después se definió una brecha entre los procedimientos explicados. Por último, se determinan las mejoras con el método actual al método anterior, en los aspectos en los que hay brecha. Los aspectos de mejora van principalmente en la línea de la exactitud y fiabilidad de los procesos que llevan a resultados de productividad. Se presentaron alternativas de mejora a cada paso del proceso de medición y cálculo que tuvieron brecha. Estas se enfocaron en el proyecto donde se desarrolló el trabajo final de graduación y la empresa para la cual se realizó (Scala por Edica).

Conclusiones y recomendaciones

Conclusiones

- Actualmente no existe una estandarización en Scala por Edica sobre el proceso de medición de productividad de la mano de obra en sus proyectos. A partir de los análisis de brecha realizados para los resultados del trabajo, se concluye que los proyectos se ven afectados negativamente al no existir una estandarización en este aspecto, esto se refleja con valores poco precisos de productividad de los trabajadores obtenidos mediante el método tradicional respecto a las mediciones en campo (método propuesto). Se comprobó al realizar mediciones en campo que la empresa actualmente a la hora de clasificar el trabajo de sus cuadrillas supone valores que en ocasiones se alejan de la realidad.
- Los resultados de productividad por el método que utiliza actualmente la empresa requieren de la memoria o percepción personal de los ingenieros de proyecto sobre el trabajo de las cuadrillas. Ocasionando sesgos en los resultados según factores humanos como visualización o la antes mencionada percepción del trabajo.
- El procedimiento propuesto define una serie de pasos concretos para la medición de productividad y cálculo de tiempo efectivo de su mano de obra, a modo de estandarización enfocada específicamente a Scala. Donde el análisis de brecha cualitativo realizado a los procedimientos de medición de productividad, mostró que el proceso propuesto permite optimizar procesos llevados a cabo por los ingenieros de proyectos y normalizar factores del operar de los proyectos de la empresa.
- La matriz de medición de productividad propuesta permite obtener resultados de forma precisa y dando trazabilidad a estos; al tratarse de un proceso de observación en campo, almacenamiento de información y cálculos matemáticos automatizados. Esto brinda la posibilidad de tener respaldo en la toma de decisiones con base en los datos obtenidos.
- Las tablas generadas automáticamente a partir de la matriz de medición de productividad resumen la información de horas de mediciones en datos estadísticos amigables con la persona usuaria. Esto ahorra tiempo en cálculos y promueve la implementación de la herramienta propuesta al no requerir de una inversión de tiempo significativa.
- Los gráficos generados automáticamente a partir de las mediciones realizadas facilitan la interpretación de los datos obtenidos con la implementación de la herramienta propuesta, facilitando la comprensión de los resultados sin necesidad de que hayan estado involucrados en el proceso de medición.
- Para el proceso constructivo de trabajos de pintura existen diferencias entre los resultados obtenidos en campo respecto a los esperados por los ingenieros del proyecto. Estos para la clasificación de trabajo productivo, con un 9% y la clasificación de trabajo contributivo, con un 7%. Con esto se corrobora que el proceso propuesto de medición de productividad sí aporta exactitud a los resultados y que el método tradicional puede inducir a errores en la obtención de la productividad de la mano de obra de un proyecto.
- Se determinan brechas cualitativas en el proceso de medición de productividad. La herramienta propuesta brinda mejoras en cuanto a la trazabilidad de las mediciones, la facilidad para recolectar la

información, la estandarización de procesos y la retroalimentación que la información generada le da a la empresa.

Recomendaciones

- Se recomienda al Departamento de ingeniería de Scala buscar la estandarización de procesos. El presente trabajo se enfoca en la productividad de la mano de obra, pero igualmente son recomendables estandarizaciones en todos los procesos posibles.
- Se puede profundizar en propuestas de estandarización de procedimientos de mediciones de productividad de los procesos constructivos específicos llevados a cabo por subcontratos. Esto puede notificar de fallos en la metodología de trabajo desde el momento en que se inicia una actividad, para así predecir el comportamiento de esta en el cronograma de proyecto y que no se vea afectado.
- Se recomienda para futuros trabajos que vayan en la línea de productividad de la mano de obra, que se definan desde que se inicia el trabajo los procesos constructivos por medir, la cantidad de horas necesarias de medición y los horarios a los que se mide. Esto se debe a que la medición de procesos constructivos en campo depende de la disponibilidad de estos para ser medidos acorde al cronograma del proyecto.

Referencias bibliográficas

- Abarca, L. y Leandro, A. (2016). *Situación actual de la gestión de los materiales de construcción en Costa Rica*. Centro de Investigación en Protección Ambiental, Instituto Tecnológico de Costa Rica y Centro de Investigación en Vivienda y Construcción, Instituto Tecnológico de Costa Rica. <https://www.scielo.sa.cr/pdf/tem/v29n4/0379-3982-tem-29-04-111.pdf>
- Botero, L. B. y Álvarez, M. E. (2004). *Guía de mejoramiento continuo para la productividad en la construcción de proyectos de vivienda (Lean construction como estrategia de mejoramiento)*. Universidad Eafit.
- CFIA. (2021). *Sector construcción prevé un crecimiento entre 9-10% para este año*. Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos. <https://cfia.or.cr/noticias/sector-construccion-preve-un-crecimiento-entre-9-10-para-este-ano.html>
- Buleje, K. E. (2012). *Productividad en la construcción de un condominio aplicando conceptos de la filosofía Lean Construction*. Pontificia Universidad Católica del Perú.
- Cámara Costarricense de la Construcción. (2017). *Informe económico del sector construcción*. Informe Económico. <https://www.construccion.co.cr/Multimedia/Archivo/2523>
- Cantú, A.; López, M. y Peirone, P. (2018). *Análisis de los factores que afectan la productividad de obras civiles*. I Jornada de Divulgación de la carrera de Ingeniería Civil. https://bdigital.uncu.edu.ar/objetos_digitales/10948/cantut09.pdf
- Correa, J. (2013). *Consolidación de información y análisis de brecha para la implementación de la norma ISO 50001 en el marco del programa nacional de sistema de gestión integral de la energía*. Trabajo de grado para optar al título de ingeniero mecánico. Facultad de Ingeniería Mecánica. Universidad Pontificia Bolivariana. <https://repository.upb.edu.co/bitstream/handle/20.500.11912/3052/CONSOLIDACION%20DE%20INFORMACION%20Y%20ANALISIS%20DE%20BRECHA%20PARA%20LA%20IMPLEMENTACION%20DE%20LA%20NORMA%20ISO%2050001%20EN%20EL%20MARCO%20DEL%20PROGRAMA%20NACIONAL%20DE%20SISTEMA%20DE%20GESTION%20INTEGRAL%20DE%20LA%20ENERGIA%208DA.pdf?sequence=5>
- Cueto, E. (2020). Investigación cualitativa. *Applied sciences in dentistry*, 1(3). <https://ieya.uv.cl/index.php/asid/article/download/2574/2500>
- Gil, J. (s. f.). *La metodología de investigación mediante grupos de discusión*. Dpto. Didáctica y Organización Escolar y M.I.D.E. Universidad de Sevilla. https://gedos.usal.es/bitstream/handle/10366/69434/La_metodologia_de_investigacion_mediante.pdf?sequence=1
- Grajales, T. (2000). *Tipos de investigación*. <https://cmapspublic2.ihmc.us/rid=1RM1F0L42-VZ46F4-319H/871.pdf>
- Kuprenas, J. y Fakhouri, A. (2001). *A crew balance case study – improving construction productivity*. CM eJournal. <https://citeseerx.ist.psu.edu/document?repid=rep1&type=pdf&doi=9fcf1704e0f1db4f95547ef3e5def8fb2c34a852>
- Lozada, J. (2014). *Investigación aplicada: definición, propiedad intelectual e industria*. Centro de Investigación en Mecatrónica y Sistemas Interactivos, Universidad Tecnológica Indoamérica. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6163749>
- Mojica, A. (2012). *Implementación de las metodologías BIM como herramienta para la planificación y control del proceso constructivo de una edificación en Bogotá*. Trabajo de grado de ingeniero civil. Facultad de Ingeniería, Pontificia Universidad Javeriana. <https://repository.javeriana.edu.co/bitstream/handle/10554/11135/MojicaArboledaAlfonso2012.pdf>

- Navas, R.; Ridl, M. y Torés, L. (2012). *Mano de obra en la construcción: determinación de la cuadrilla óptima por medio de una herramienta de simulación*. Red de revistas científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal. <https://www.redalyc.org/pdf/467/46725067007.pdf>
- Real Academia Española. (2005). *Productividad*. Diccionario prehispanico de dudas. <https://www.rae.es/dpd/productividad>
- Rendon, M.; Villasís, M. y Miranda, M. (2016). *Estadística descriptiva*. Colegio Mexicano de Inmunología Clínica. <https://www.redalyc.org/pdf/4867/486755026009.pdf>
- Rojas, A. (2014). *Rendimiento de mano de obra en la construcción de viviendas en el distrito de Cajamarca en la partida: construcción de muros y tabiques de albañilería*. Tesis para optar el título profesional de ingeniero civil. Carrera de Ingeniería Civil, Universidad Privada del Norte. <https://repositorio.upn.edu.pe/bitstream/handle/11537/4918/Rojas%20Montoya%20Anghela%20Magaly.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Sabino, C. (2014). *El proceso de investigación*. Editorial Episteme. https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=jwejBAAAQBAJ&oi=fnd&pg=PP6&dq=proceso+&ots=WPhewG6eQF&sig=_Oy1TgkZ3FabQVSy6ZI5oqCNtgM#v=onepage&q=proceso&f=false
- Serpell, A. (2002). *Administración de operaciones de construcción*. Editorial Alfaomega.
- Thomas, R. y Daily, J. (1983). *Crew performance measurement via activity sampling*. Journal Of Construction Engineering and Management. <https://ascelibrary.org/doi/epdf/10.1061/%28ASCE%290733-9364%281983%29109%3A3%28309%29>
- Torres, M. y Paz, K. (s. f.). *Métodos de recolección de datos para una investigación*. Facultad de Ingeniería-Universidad Rafael Landívar. Boletín Electrónico n.º 03. <http://148.202.167.116:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/2817/M%C3%A9todos%20de%20recolecci%C3%B3n%20de%20datos%20para%20una%20investigaci%C3%B3n.pdf?sequence=1>
- Zafra, O. (2006). Tipos de investigación. *Revista científica general José María Córdova*, 4(4). <https://www.redalyc.org/pdf/4762/476259067004.pdf>

Apéndices

Apéndice 1

Proceso de detalles:		Trabajos de pintura							Portada							Notas		
Intervalos de 5 minutos	Trabajo productivo	Trabajo contributivo							Trabajo no productivo									
		Apoyo	Instrucción	Medición	Supervisión	Trazo	Transporte -10 m	Transporte +10 m	Ausente	Descanso	Esperas	Retrabajo	Ocioso					
Fecha: 11/12/2022. Condición: A lo interno de la planta, temperatura constante. Hora: 1:00pm	0	X																
	5																	X
	10																	X
	15																	
	20								X									X
	25																	X
	30	X																
	35	X																
	40	X																
	45																	
50	X		X															
55	X																	
60	X																	
Fecha: 11/12/2022. Condición: A lo interno de la planta, temperatura constante. Hora: 3:00pm	65																	
	70									X								
	75	X																
	80	X																
	85	X																
	90		X															
	95	X																
	100								X									
	105									X								
	110	X																
115	X																	
120	X																	
Fecha: 11/12/2022. Condición: A lo interno de la planta, temperatura constante. Hora: 4:00 pm	125	X																
	130	X																
	135								X									
	140	X																
	145										X							
	150	X																
	155		X															
	160	X																
	165	X																
	170																	
175	X								X									
180																		

Fecha: 20/3/2022. Condición: A lo interno de la planta, temperatura constante. Hora: 9:00 am	185	X														Cuadrilla conformada por tres operarios
	190		X													
	195									X						
	200	X														
	205											X				
	210											X				
	215	X														
	220	X														
	225	X														
	230	X														
	235					X										
240	X															
Fecha: 20/3/2022. Condición: A lo interno de la planta, temperatura constante. Hora: 10:00 am	245	X														Cuadrilla conformada por tres operarios
	250	X														
	255	X														
	260								X							
	265	X														
	270											X				
	275	X														
	280							X								
	285	X														
	290	X														
	295									X						
300	X															
Fecha: 20/3/2022. Condición: A lo interno de la planta, temperatura constante. Hora: 11:00 am	305											X				Cuadrilla conformada por tres operarios
	310	X														
	315		X													
	320									X						
	325	X														
	330												X			
	335											X				
	340	X														
	345	X														
	350	X														
	355	X														
360	X															
TOTALES	43	4	1	1	0	1	1	5	4	6	2	0	4			

NOTAS: Empresa encargada del proceso: SCALA. Los materiales faltantes deben ser trasladados desde la bodega de materiales o la bodega de herramienta, la cual se encuentra fuera del proyecto y muy lejos por políticas del cliente. No es permitido por parte del cliente tener bodegas dentro de la planta por temas de seguridad laboral. Todo equipo, producto o herramienta debe ser notificada, revisada y etiquetada antes de su ingreso a la planta, por lo que para llevar este control se lleva a la planta solamente los materiales necesarios. Los traslados hasta las bodegas y oficinas son complicados por tratarse de una planta activa y rodeada de parqueos se trasladó la zona de contenedores, oficinas, bodegas y desechos hasta un terreno colindante, haciendo los traslados de cerca de 400 metros de ida y 400 metros de vuelta.

Simbología	
X	Operario

Proceso de detalles: Colocación de silicón en juntas

Portada

Intervalos de 5 minutos	Trabajo productivo	Trabajo contributivo							Trabajo no productivo					Notas	
		Apoyo	Instrucción	Medición	Supervisión	Traza	Transporte -10 m	Transporte +10 m	Ausente	Descanso	Esperas	Retrabajo	Ocioso		
Fecha: 10/12/2022 Condición: A lo interno de la planta, temperatura constante. Hora: 2:00 pm	0	X													
	5	X													
	10	X													
	15														
	20	X									X				
	25	X													
	30	X													
	35														
	40	X									X				
	45	X													
	50							X							
	55	X													
60	X														
65	X														
70	X														
75	X														
80	X														
85	X														
90															
95	X														
100	X												X		
105	X														
110	X														
115	X														
120	X														
125			X												
130	X														
135	X														
140										X					
145	X														
150	X														
155	X														
160	X														
165							X								
170	X														
175	X														
180													X		
185	X														
190		X													
195	X														
200	X														
205	X														
210		X													
215	X														
220	X														
225										X					
230	X														
235	X														
240	X														
TOTALES	38	2	1	0	0	1	1	0	2	2	0	0	2		

NOTAS: Empresa encargada del proceso: Roswell Drywall.

Simbología
 X Operario

Proceso de detalles: Instalación de puertas

Portada

Intervalos de 5	Trabajo productivo	Trabajo contributivo							Trabajo no productivo					Notas		
		Apoyo	Instrucción	Medición	Supervisión	Trazo	Transporte -10 m	Transporte +10 m	Ausente	Descanso	Esperas	Retrabajo	Ocioso			
Fecha: 13/12/2022. Condición: A lo interno de la planta, temperatura constante. Hora: 4:00 pm/am	0	X														
	5		X													
	10		X													
	15		X													
	20	X														
	25	X														
	30		X													
	35		X													
	40	X														
	45										X					
	50										X					
	55	X														
	60		X								X					
	65				X						X					
	Fecha: 13/12/2022. Condición: A lo interno de la planta, temperatura constante. Hora: 2:00 pm	70	X													
		75		X												
80		X														
85										X						
90											X					
95										X		X				
100														X		
105														X		
110														X		
115		X														
Fecha: 15/3/2023. Condición: A lo interno de la planta, temperatura constante. Hora: 9:00 am	120		X								X					
	125		X								X					
	130	X														
	135		X													
	140	X														
	145									X						
	150											X				
	155									X						
	160													X		
	165													X		
Fecha: 15/3/2023. Condición: A lo interno de la planta, temperatura constante. Hora: 10:00 am	170													X		
	175	X														
	180						X									
	185	X														
	190		X													
	195			X												
	200		X													
	205	X														
	210	X														
	215		X													
Fecha: 15/3/2023. Condición: A lo interno de la planta, temperatura constante. Hora: 10:00 am	220		X													
	225	X														
	230										X					
	235										X					
	240	X														
	TOTALES	16	14	1	1	0	1	0	0	0	12	1	1	6		

NOTAS: Empresa a cargo del proceso: Accesos automáticos.

Simbología
 X Operario

Proceso de detalles: Perforación de paneles de cuarto limpio

Portada

Intervalos de 5 minutos	Trabajo productivo	Trabajo contributivo							Trabajo no productivo				Notas		
		Apoyo	Instrucción	Medición	Supervisión	Trazo	Transporte -10 m	Transporte +10 m	Ausente	Descanso	Esperas	Retrabajo		Ocioso	
Fecha: 14/12/2022. Condición: A lo interno de la planta, temperatura constante. Hora: 9:00 am	0	X													
	5	X													
	10	X													
	15	X													
	20		X												
	25										X				
	30	X													
	35							X							
	40									X					
	45										X				
	50	X													
55														X	
60	X														
Fecha: 14/12/2022. Condición: A lo interno de la planta, temperatura constante. Hora: 10:00 am	65		X												
	70			X											
	75	X													
	80										X				
	85										X				
	90										X				
	95			X											
	100										X				
	105	X													
	110		X												
	115	X													
120		X													
Fecha: 20/12/2022. Condición: A lo interno de la planta, temperatura constante. Hora: 2:00 pm	125	X													
	130				X										
	135	X													
	140		X												
	145	X													
	150					X									
	155	X													
	160		X												
	165													X	
	170													X	
	175	X													
180		X													

Fecha: 20/12/2022. Condición: A lo interno de la planta, temperatura constante. Hora: 3:00 pm	185	X														
	190		X													
	195								X							
	200														X	
	205	X														
	210	X														
	215			X												
	220											X				
	225														X	
	230	X														
235			X													
240	X															
Fecha: 10/3/2023. Condición: A lo interno de la planta, temperatura constante. Hora: 2:00 pm	245		X													
	250			X												
	255	X														
	260									X						
	265										X					
	270									X						
	275			X												
	280									X						
	285	X														
	290		X													
295	X															
300		X														
Fecha: 10/3/2023. Condición: A lo interno de la planta, temperatura constante. Hora: 3:00 pm	305	X														
	310		X													
	315	X														
	320		X													
	325	X														
	330		X													
	335	X														
	340		X													
	345														X	
	350														X	
355	X															
360		X														
TOTALES	28	18	4	1	1	0	0	1	2	9	1	1	7			
NOTAS: Empresa a cargo del proceso: Scala.																

Simbología
X Operario

Proceso de detalles: Colocación de piso epóxico

Portada

Intervalos de 5 minutos	Trabajo productivo	Trabajo contributivo							Trabajo no productivo					Notas		
		Apoyo	Instrucción	Medición	Supervisión	trazo	Transporte -10 m	Transporte +10 m	Ausente	Descanso	Esperas	Retrabajo	Ocioso			
Fecha: 15/12/2022. Condición: A lo interno de la planta, temperatura constante. Hora: 2:00 pm	0	X														
	5	X														
	10															X
	15															X
	20															X
	25			X												
	30					X										
	35	X														
	40	X														
	45											X				
	50	X														
	55			X												
60		X														
Fecha: 15/12/2022. Condición: A lo interno de la planta, temperatura constante. Hora: 3:00 pm	65	X														
	70		X													
	75										X					
	80	X														
	85		X													
	90	X														
	95		X													
	100	X														
	105		X													
	110	X														
	115	X														
	120	X														
Fecha: 15/12/2022. Condición: A lo interno de la planta, temperatura constante. Hora: 4:00 pm	125	X														
	130	X														
	135							X								
	140							X								
	145	X														
	150	X														
	155	X														
	160	X														
	165									X						
	170							X								
	175										X					
	180													X		

Fecha: 16/12/2022. Condición: A lo interno de la planta, temperatura constante. Hora: 9:00 pm	185							X											
	190							X											
	195	X																	
	200	X																	
	205	X																	
	210						X												
	215	X																	
	220													X					
	225	X																	
	230	X																	
235	X																		
240	X																		
Fecha: 20/12/2022. Condición: A lo interno de la planta, temperatura constante. Hora: 2:00 pm	245												X						
	250	X																	
	255	X																	
	260	X																	
	265			X															
	270												X						
	275												X						
	280	X																	
	285														X				
	290	X																	
295	X																		
300	X																		
Fecha: 20/12/2022. Condición: A lo interno de la planta, temperatura constante. Hora: 3:00 pm	305	X																	
	310	X																	
	315							X											
	320	X																	
	325	X																	
	330	X																	
	335	X																	
	340	X																	
	345	X																	
	350	X																	
355																		X	
360																		X	

Cuadrilla conformada por seis operarios

Cuadrilla conformada por siete operarios

Cuadrilla conformada por siete operarios

Fecha: 20/12/2022. Condición: A lo interno de la planta, temperatura constante. Hora: 4:00 am	365	X																Cuadrilla conformada por siete operarios	
	370									X									
	375	X															X		
	380																		X
	385	X																	
	390										X								
	395										X								
	400										X								
	405	X																	
	410	X																	
415	X																		
420																	X		
Fecha: 21/12/2022. Condición: A lo interno de la planta, temperatura constante. Hora: 10:00 am	425																		
	430			X															
	435	X																	
	440									X									
	445										X								
	450										X								
	455																	X	
	460										X								
	465	X																	
	470	X																	
475																		X	
480																		X	
Fecha: 21/12/2022. Condición: A lo interno de la planta, temperatura constante. Hora: 11:00 am	485																		X
	490										X								
	495	X																	
	500	X																	
	505																		X
	510																		X
	515																		X
	520			X															
	525											X							
	530											X							
535	X																		
540	X																		
TOTALES	55	8	2	1	2	4	1	1	1	1	14	6	0	15					
NOTAS: Empresa a cargo del proceso: Novatec Industrial.																			

Simbología	
X	Operario