Registro de rendimientos en actividades de construcción de redes contra incendios conforme al marco del proyecto PLANTÉ: Caso de estudio en Marinilla, Antioquia.

Sebastián Asprilla Rentería

Informe de práctica presentado para optar al título de Ingeniero Civil

Asesor Interno
Daniel Esteban Naranjo Gonzales, Ingeniero Sanitario
Asesor externo
Vivian Janeth León Duque, Ingeniera Civil

Universidad de Antioquia
Facultad de Ingeniería
Ingeniería Civil
Medellín, Antioquia, Colombia
2024

Cita	(Asprilla Rentería, 2024)
Referencia **Estilo APA 7 (2020)**	Asprilla Rentería, S. (2024). *Registro de rendimientos en actividades de construcción de redes contra incendios conforme al marco del proyecto PLANTÉ: Caso de estudio en Marinilla, Antioquia.* [Informe de práctica]. Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia.

creative commons BY NC SA

UNIVERSIDAD DE ANTIOQUIA
Vicerrectoría de Docencia

Sistema de Bibliotecas

Centro de Documentación Ingeniería (CENDOI)

Repositorio Institucional: http://bibliotecadigital.udea.edu.co

Universidad de Antioquia - www.udea.edu.co

Rector: John Jairo Arboleda Céspedes.

Decano/Director: Julio César Saldarriaga.

Jefe departamento: Lina María Berrouet Cadavid.

El contenido de esta obra corresponde al derecho de expresión de los autores y no compromete el pensamiento institucional de la Universidad de Antioquia ni desata su responsabilidad frente a terceros. Los autores asumen la responsabilidad por los derechos de autor y conexos.

Dedicatoria

Dedico este trabajo a mi madre, cuya dedicación y ejemplo han iluminado camino, inspirándome a luchar por cada uno de mis proyectos. Así mismo, decido este trabajo a mi padre por su confianza, apoyo y acompañamiento incondicional en la consecución de mis objetivos. Ambos son los pilares de mi vida.

Agradecimientos

Quiero expresar mi gratitud hacia la Universidad de Antioquia por brindarme durante esta etapa de mi vida un entorno amigable y acogedor. Asimismo, agradezco a los docentes de mi alma mater por compartirme todo el conocimiento que poseen.

A la empresa DyC Constructores S.A.S por ser el lugar que me permitió profundizar y aplicar mis conocimientos mediante la vida profesional como ingeniero civil.

Deseo mostrar mi agradecimiento hacia mis amigos por alegrar mis días y estar a mi lado durante este proceso.

Finalmente, gracias a mi asesor por la dedicación y guía que me regalo durante el desarrollo de este trabajo.

Tabla de contenido

Resumen 12

Abstract 13

Introducción 14

1 Justificación 16

2 Objetivos 17

2.1 Objetivo general 17

2.2 Objetivos específicos 17

3 Marco teórico 18

4 Metodología 22

4.1 Selección de muestra 23

4.1.1 Instalación de tubería acero al carbón SCH 40 23

4.1.2 Instalación de tubería acero al carbón SCH 10 24

4.1.3 Instalación de acople ranurado rígido 24

4.1.4 Instalación de tee mecánica ranurada 25

4.1.5 Instalación de reducción tuerca 1” x ¾” 26

4.2 Descripción de personal 26

4.3 Recolección de información 27

4.4 Estimación de rendimientos 28

4.5 Evaluación de rendimientos. 32

5 Resultados 32

5.1 Recolección de información 35

5.2 Estimación de rendimientos 36

5.3 Comparación rendimientos 54

7 Conclusiones 56

8 Recomendaciones.....58

Referencias.....59

Anexos.....61

Lista de tablas

Tabla 1. Principales características de aplicabilidad de las metodologías. Fuente: (Muñoz Peralta & Calle Castro, 2021).....20

Tabla 2. Cantidad de personal por cargo en la construcción de la red contra incendios del proyecto Planté RCI 26

Tabla 3. Formato registro de medición. Fuente: Autor. 27

Tabla 4. Rendimientos de mano de obra empleados en la cotización del proyecto Planté para la construcción de la red contra incendios. Fuente: Autor. 35

Tabla 5 Duración de las actividades de construcción de RCI realizadas en Planté el 3 noviembre de 2023. Fuente: Autor. 36

Tabla 6 Tabla de estimación de rendimientos de MdeO. Fuente: Autor 37

Tabla 7 Tabla resumen de los rendimientos de mano de obra. Fuente: Autor. 38

Tabla 8 Análisis estadístico corte de tubería sch10 1 1/4". Fuente: Autor. 39

Tabla 9 Análisis estadístico pulida de tubería sch10 1 1/4". Fuente: Autor. 40

Tabla 10 Análisis estadístico ranurado de tubería sch10 1 1/4". Fuente: Autor. 41

Tabla 11 Análisis estadístico montaje de tubería sch10 1 1/4". Fuente: Autor. 42

Tabla 12. Análisis estadístico instalación de tubería sch10 1 1/4". Fuente: Autor. 45

Tabla 13 Análisis estadístico perforación de tubería sch10 2". Fuente: Autor. 47

Tabla 14 Análisis estadístico instalación de tee mecánica ranurada de 2x1 1/4". Fuente: Autor. 48

Tabla 15 Resumen del análisis estadístico instalación de tee mecánica ranurada de 2” x1 1/4". Fuente: Autor. 49

Tabla 16 Análisis estadístico lubricación de acople ranurado de 1 1/4. Fuente: Autor. 50

Tabla 17 Análisis estadístico instalación de acople ranurado de 1 1/4. Fuente: Autor. 51

Tabla 18 Resumen del análisis estadístico instalación de acople ranurado de 1 1/4. Fuente: Autor. 52

Tabla 19 Análisis estadístico instalación de reducción tuerca de 3/4. Fuente: Autor. 54

Tabla 20 Comparación entre rendimientos estimados en campo y cotización del proyecto. Fuente: Autor.....55

Lista de figuras

Figura 1. Ubicación del proyecto. Fuente: Tomado de Google Maps. 22

Figura 2. Procedimiento para la instalación de tubería A.C SHC 40. Fuente: Autor 23

Figura 3. Procedimiento para la instalación de tubería A.C SHC 10. Fuente: Autor 24

Figura 4. Procedimiento para la instalación de acople ranurado rígido. Fuente: Autor.....25

Figura 5. Procedimiento para la instalación de tee mecánica ranurada. Fuente: Autor 25

Figura 6. Procedimiento para la instalación de reducción tuerca. Fuente: Autor 26

Figura 7. Relación del coeficiente de variabilidad con respecto a la representatividad de la media aritmética. Fuente:(Spiegel, 1976) 30

Figura 8 Distribución normal teórica de corte de tubería A.C SHC 10 de 1 1/4". Fuente: Autor.39

Figura 9 Distribución normal teórica de pulir de tubería A.C SHC 10 de 1 1/4". Fuente: Autor. 40

Figura 10 Distribución normal teórica de ranurado de tubería A.C SHC 10 de 1 1/4". Fuente: Autor.....41

Figura 11 Distribución normal teórica de montaje de tubería A.C SHC 10 de 1 1/4". Fuente: Autor.....42

Figura 12 Duración de montaje de tubería sch 10 de 1 1/4". Fuente: Autor.....44

Figura 13 Distribución normal teórica de instalación de tubería A.C SHC 10 de 1 1/4". Fuente: Autor.....46

Figura 14 Distribución normal teórica de perforación de tubería A.C SHC 10 de 2". Fuente: Autor.....47

Figura 15 Distribución normal teórica de instalación de tee mecánica 2" x 1 ¼". Fuente: Autor. 48

Figura 16 Distribución normal teórica del resumen de la instalación de tee mecánica ranurada 2" x 1 ¼". Fuente: Autor.....49

Figura 17 Distribución normal teórica de la lubricación de acople rígido ranurado 1 ¼". Fuente: Autor.....51

Figura 18 Distribución normal teórica de instalación de acople ranurado rígido de 1 1/4". Fuente: Autor.....52

Figura 19 Distribución normal teórica del resumen de la instalación de acople rígido ranurada 1 ¼". Fuente: Autor. 53

Figura 20 Distribución normal teórica de la instalación de reducción tuerca 1" x ¾". Fuente: Autor. 54

Lista de fotografías

Fotografía 1. Roscado de tubería. Fuente: Autor. 33

Fotografía 2. Pulición de niple de tubería. Fuente: Autor. 33

Fotografía 3. Ranurado de tubería 4” SCH 10. Fuente: Autor. 33

Fotografía 4. Pulida de tubería 4" SCh 10. Fuente: Autor. 33

Fotografía 5. Instalación de soporte 4 vías de 4". Fuente: Autor. 34

Fotografía 6. Tubería SCH 10 de 4" para la instalación de válvula de toma para bomberos. Fuente: Autor. 34

Fotografía 7. Junta sísmica realizada con codo y acoples ranurados de 1 1/4". Fuente: Autor 34

Siglas, acrónimos y abreviaturas

RCI	Redes Contra Incendios
IVP	Intervalo verdadero promedio
APU	Análisis de precio unitario
AC	Acero al carbón
SCH	Schedule
Und	Unidad
ml	Metro lineal
UPA	Unit Price Analysis

Resumen

En la realización de presupuesto de una obra de construcción es fundamental conocer los rendimientos empleados en el proyecto para cada uno de los procesos constructivos a ejecutar, de no ser así, se podría tener graves consecuencias tanto económicas como operativas, al no garantizar la terminación del proyecto dentro de tiempo, alcance y costos previstos. Por esta razón se propone la actualización de la base de datos de rendimientos constructivos de redes contra incendios, según las actividades realizadas en el proyecto Planté, además de evaluar los rendimientos estimados en las actividades durante la ejecución de su presupuesto.

Con el propósito de alcanzar los objetivos definidos, se realizará la revisión de los análisis de precios unitarios proporcionados por la empresa en construcción de redes contra incendios, posteriormente se realiza la recopilación de datos de campo para medir rendimientos y consumo de materiales en los procesos constructivos del proyecto para estimar en base a un análisis estadísticos dichos rendimientos, finalmente, se realiza una evaluación comparativa con la información suministrada por la empresa.

De acuerdo con los resultados obtenidos, se observa la importancia de considerar las fluctuaciones en los rendimientos de cada proyecto de construcción, teniendo en cuenta las particularidades distintivas que los caracterizan y las eventualidades que surgen diariamente en las obras, con el fin de llevar a cabo un análisis adecuado de los rendimientos.

Palabras clave: Rendimiento, Mano de obra, Redes contra incendio, APU´s, Tubería A.C.

Abstract

When budgeting a construction project, it is essential to know the performance used for each one of the construction processes to realize, otherwise, it could have serious economic and operational consequences, by not guaranteeing the completion of the project within the time, scope and costs foreseen. For this reason, it is proposed to update the database of man-hour firefighting system network construction, according to the activities carried out in the Planté project, in addition to evaluating the man-hour used in the unit prince analysis (UPA) for execute the project´s budget.

In order to achieve the defined objectives, a review of the unit prince analysis (UPA) provided by the company in the construction of firefighting system network will be carried out, then the collection of field data to measure the man-hour and consumption of materials in the construction processes of the project to estimate it based on a statistical analysis, finally, a comparative evaluation is made with the information provided by the company.

According to the results obtained, it is important to consider the fluctuations in the man-hour of each construction project, considering the distinctive features that characterize them and the eventualities that arise daily in the works, in order to carry out an adequate analysis of the man-hour.

*Keywords***:** Firefighting system network, UPA, Man-Hour.

Introducción

La industria de la construcción se destaca por el requerimiento de realizar inversiones significativamente más altas a comparación de otros sectores, de manera que, esta industria ejerce un impacto considerable en la economía de un país (Melo Cuevas, 2019) Melo Cuevas. Al mismo tiempo, según (Cabrera Ramírez, 2023), la ejecución de proyectos civiles requiere una cuidadosa planificación para asegurar la construcción de estructuras e instalaciones de alta calidad, controlando los costos de manera razonable y cumpliendo con los plazos establecidos, siendo esencial el obtener información acerca de los rendimientos de mano de obra para medir la eficiencia y productividad de un proyecto, (Garcia Lopera, 2020).

La construcción de cualquier tipo de obra civil demanda una planificación meticulosa que garantice estructuras e instalaciones de calidad a costos razonables y dentro de plazos previstos (Cabrera Ramírez, 2023), así mismo, según (Botero Botero, 2002), en el sector de la construcción, la programación y el presupuesto de obra se vuelven herramientas esenciales para gestionar un proyecto. El mismo autor argumenta que esto se debe a que posibilitan la estimación previa de costos, la duración y la asignación de materiales de obra, elementos fundamentales para evaluar la viabilidad y alcanzar con éxito los objetivos del proyecto.

De acuerdo con (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, en el pasado se empleaban bases de datos comerciales que contenían información sobre rendimientos de mano de obra y materiales para llevar a cabo la elaboración de presupuestos y la programación de proyectos. Este enfoque generaba estimaciones que se alejaban de la realidad, siendo necesario para la correcta presupuestación y programación de obra, observaciones y análisis estadísticos de cada una de las actividades a ejecutar el proyecto, teniendo en cuenta las variaciones particulares de cada proceso constructivo. De esta manera, la planificación adecuada contribuirá al desarrollo exitoso del proyecto al proporcionar a los constructores las herramientas necesarias.

> *"El sector de la construcción y cada tipo de proyecto es particular, lo cual no es tenido en cuenta por aquellas personas encargadas al momento de realizar dicha planeación, dedicándose de esta forma, a tener en cuenta datos de otros tipos de proyectos que, aunque similares, igual tendrán particularidades*

propias que los hacen diferentes, viéndose así afectada la productividad de las actividades a realizar"(Arboleda Lopez, 2014)

La variable que permite conocer la productividad de los constructores y materiales empleados en una obra es el rendimiento (Garcia Lopera, 2020), siendo este dato fundamental para la elaboración eficaz de un proyecto, al influir en gran parte en la programación y el presupuesto de la obra, de manera que su correcto cálculo es esencial para cada proyecto de construcción.

En este punto, se inicia la investigación sobre los rendimientos y consumos de mano de obra en actividades de construcción, centrándose especialmente en aquellas que no han sido especialmente examinadas hasta el momento, permitiendo que los constructores puedan emplear esta información para desarrollar sus proyectos de manera efectiva.

Al momento de planificar la construcción de la red contra incendios del proyecto de Planté, la empresa DyC construcores S.A.S, no contaba con datos suficientes de los rendimientos de mano de obra y materiales en la construcción de redes contra incendios, implementando una metodología diferente al momento de realizar el presupuesto de la obra. Al estimar los rendimientos como un porcentaje de la cantidad del material, equipo o mano de obra a emplear, basando esta estimación en experiencia y opiniones, sin tener en cuenta un análisis estadístico que proporcione una estimación más eficaz del rendimiento.

Conscientes de la problemática, la empresa DyC Construcores S.A.S tiene como objetivo la implementación de una base de datos que contenga rendimientos en la construcción de redes contra incendios usando el proyecto planté para la obtención datos, con el fin de actualizar los rendimientos de mano de obra empleados por la empresa en sus cotizaciones. Además, en el presente informe se evalúa la información obtenida en campo con respecto a la estimada al momento de realizar el presupuesto de la obra.

1 Justificación

La industria de la construcción se caracteriza por exigir inversiones considerablemente más elevadas en comparación con otros sectores, lo que implica un impacto significativo en la economía de un país. Por otro lado, la ejecución de proyectos civiles demanda una cuidadosa planificación para garantizar la construcción de estructuras e instalaciones de alta calidad, controlando los costos de manera prudente y cumpliendo con los plazos establecidos (Cabrera Ramírez, 2023). En este contexto, resulta crucial obtener información sobre los rendimientos de mano de obra para evaluar la eficiencia y productividad de un proyecto, como señala (Garcia Lopera, 2020).

Sin embargo, la empresa DyC Constructores no dispone de suficiente información sobre los rendimientos de mano de obra involucrada en la construcción de proyectos de redes contra incendio, siendo necesario la implementación de otras metodologías para estimar el valor unitario de las actividades.

El obtener información sobre rendimiento de mano de obra en la construcción de este tipo de redes, es beneficioso para el especialista dedicado a la concepción, desarrollo y supervisión de este tipo de proyectos. Esto permite llevar a cabo análisis de precios unitarios (APUs) con resultados más precisos y alineados con la realidad, previniendo una variedad de factores que afectan dichos rendimientos y por lo tanto el costo unitario de la actividad.

2 Objetivos

2.1 Objetivo general

Evaluar el rendimiento de los procesos constructivos empleados en los análisis de precios unitarios de proyectos de construcción de redes contra incendios, mediante la implementación de una base de datos de rendimiento obtenidos en obra.

2.2 Objetivos específicos

- Describir la recopilación de datos sobre la ejecución de procesos constructivos para la realización de la red contra incendios del proyecto planté.
- Actualizar constantemente la base de datos de análisis de precios unitarios de construcción de red contra incendios empleados por la empresa DyC constructores.
- Comparar los rendimientos de los procesos constructivos hallados en obra con las estimaciones pasadas de la empresa para la ejecución del presupuesto y cronograma de obra del proyecto y las propuestas en la literatura.

3 Marco teórico

La programación y el presupuesto son herramientas fundamentales para correcta administración de un proyecto de construcción, de igual forma (Botero Botero, 2002) sostiene la importancia de estos elementos al permitir conocer de manera anticipada los costos, duración y materiales necesarios para la ejecución de la obra. Por lo tanto, es esencial tener en cuenta los diversos factores que afectan el presupuesto de un proyecto de construcción y la manera en que se lleva a cabo su elaboración, con el fin de conocer su viabilidad como afirma (Garcia Lopera, 2020).

Citando a (Hernández Cortés, A., & Beltrán Cárdenas, 2021), con el fin de elaborar correctamente un presupuesto, se debe tener en cuenta las dos divisiones que abarcan este concepto, siendo estas los costos directos e indirectos, siendo estos los precios relacionados con los elementos básicos para la construcción del proyecto y los correspondes a los valores administrativos, imprevistos y utilidades de la obra, respectivamente, además según (Gavilánez Constante, 2019), los costos directos se descomponen a su vez unidad de medida, método de medición, rendimiento, cantidad y precio unitario. Cómo afirman (Hernández Cortés, A., & Beltrán Cárdenas, 2021), los costos directos de una obra de construcción se obtienen a partir de los precios unitarios de las actividades requeridas para el proyecto, siendo así, el Análisis de precios unitarios (APU), una piedra angular en la creación de presupuestos de construcción, al ser la base de la estimación de los costos directos del proyecto y por lo tanto de gran importancia para la cotización de una obra civil, esta idea es respaldada por (Puentes Leal, 2009), al definir el análisis de precios unitarios como un insumo empleado en la elaboración de ítems del presupuesto y factor fundamental en la realización de presupuestos de obra.

Según (Gavilánez Constante, 2019), el análisis de precios unitarios es una metodología que divide los costos de una actividad de construcción en el precio por equipo, transporte, materiales y mano de obra a emplear, en consecuencia, el factor humano es clave en la elaboración de obras civiles, así mismos (Navarro, 2008) hace mención a la mano de obra como representante de una parte significativa en los gastos de la mayoría de los proyectos de construcción, consecuentemente, la correcta estimación del coste de este aspecto es fundamental en el desarrollo del presupuesto del proyecto y la viabilidad del mismo.

En la opinión de (Arboleda López, S. A., & Serna Gutiérrez, 2007), el rendimiento es la relación entre el trabajo o tiempo requerido para llevar a cabo una actividad y cantidad de obra

ejecutada, así pues, el rendimiento de una actividad está ligado al tiempo que una cuadrilla tarde en ejecutar un determinado proceso de construcción, siendo un factor que incide en la productividad de una actividad, por lo tanto, según (Botero Botero, 2002), se hace esencial comprender los diversos factores que influyen en la mano de obra y el impacto que tiene en su rendimiento al ejecutar distintos procesos constructivos. Aunque se han realizado investigaciones para determinar los rendimientos en proyectos de construcción, resulta impracticable establecer un valor generalizado, como señala (Brenes Serrano, 2014), la mano de obra de un proyecto es quizás el rubro con mayor dificultad para calcular del recurso humano y demás variables como: el clima, forma de pago, herramientas y equipo utilizado, capacitación del personal, incentivos, condiciones de trabajo, materiales utilizados y ubicación del proyecto. La influencia de estos factores en el rendimiento no siempre puede anticiparse al momento de crear el presupuesto, y algunos de ellos solo se perciben durante la ejecución de este (Rojas Montoya, 2014).

Por otro lado (Velandia Castillo, 2022), menciona la preocupación que llegan a tener los constructores si es que estos no cuentan con datos e información suficiente para la correcta estimación de rendimientos y consumo de mano de obra, además de ocasionar la búsqueda de bases en bases de datos en otras regiones a ingenieros o arquitectos en busca de un punto de comparación para la creación de presupuestos y programación de sus respectivas obras (Caballero Velasco, M. R., & Vargas Porras, 2013). No obstante, esta metodología produce imprecisión al momento de estimar los procesos de construcción al no tener en cuenta las características y condiciones específicas de una obra.

> *"Se produce imprecisión, ya que las características y condiciones de las obras son específicas y difieren de una ciudad a otra. Esto conlleva a un aumento en los márgenes de error durante la programación y la elaboración del presupuesto de mano de obra en proyectos de construcción" (Caballero Velasco, M. R., & Vargas Porras, 2013)*

La consecuencia de utilizar datos erróneos o poco precisos en los proyectos, generando demoras y, por lo tanto, sobrecostos en la obra. Con todo lo dicho anteriormente, en síntesis, surge la necesidad de estimar correctamente el rendimiento de la mano de obra en la ejecución de las actividades de construcción.

Como sostiene (Botero Botero, 2002), históricamente, se solían emplear bases de datos comerciales que contenían información sobre rendimiento de mano de obra, con el propósito de estimar tiempos de ejecución y realizar APUs, sin embargo, esta metodología genera desconfianza por la alta dispersión de las estimaciones con la realidad, siendo necesario buscar una alternativa mas precisa para calcular el rendimiento. En la opinión de (Botero Botero, 2002), las múltiples observaciones en campo y análisis estadísticos de los rendimientos son los fundamentos de un presupuesto y programación de obra, considerando las variaciones particulares de cada proyecto, con el fin de aumentar su viabilidad.

Con el fin de simplificar el proceso de recolección, para la estimación de rendimientos de mano de obra propone, la obtención de la mayor cantidad de información posible acerca de los detalles de cada una de las actividades donde se tiene en cuenta: observador, actividad, subactividad, medición, fecha, personal, tiempo, cantidad de obra, registro fotográfico, observaciones y detalles necesarios. Según (Muñoz Peralta, L. F., & Calle Castro, 2021), existen cuatro metodologías a destacar en la actualidad al momento de levantar información sobre los rendimientos de mano de obra, estas son ilustradas en la **Tabla 1**, incluyendo sus principales características. Como concluye (Muñoz Peralta, L. F., & Calle Castro, 2021), la metodología que permite la recolección de mayor cantidad de información con un alto grado de confiabilidad sobre rendimiento de mano de obra es la "Observación directa en campo", ya que esta tiene en cuenta todo factor que altera los rendimientos y cantidades de insumos empleados en la actividad a analizar.

Tabla 1. *Principales características de aplicabilidad de las metodologías. Fuente: (Muñoz Peralta, L. F., & Calle Castro, 2021)*

Metodología	Condiciones controladas	Condiciones sin controlar	Aplicación a encargados	Aplicación a mano de obra	Con conocimiento del trabajador	Sin conocimiento del trabajador	Requiere de tecnologías especiales
Observación directa en campo	X	X		X	X	X	
Entrevistas	X		X	X	X		
Monitoreo con sensores	X	X		X	X		X
Método de unidad completada	X	X	X	X	X	X	

Con el fin de ayudar en la obtención de éxito del proyecto, (Botero Botero, 2002) sostiene que los rendimientos de mano de obra deben estar basados en observaciones de las actividades constructivas considerando las características que diferencian cada proyecto, además de realizar un posterior análisis estadísticos con esta información, empleando estadística estadística básica en el proceso y buscando una distribución normal en los datos, eliminando datos extremos que no se encuentren en medio de ciertos límites. (Brenes Serrano, 2014)

Asimismo, (Velandia Castillo, 2022) realiza tratamientos estadísticos similares a los anteriores autores, incluyendo en su análisis el método de Curtosis, empleado con el fin de determinar el grado de concentración de los valores de una distribución de frecuencia y establecer si estos se asemejan a una distribución normal, estimando en el proceso la media aritmética, desviación estándar y el coeficiente de varianza de los datos.

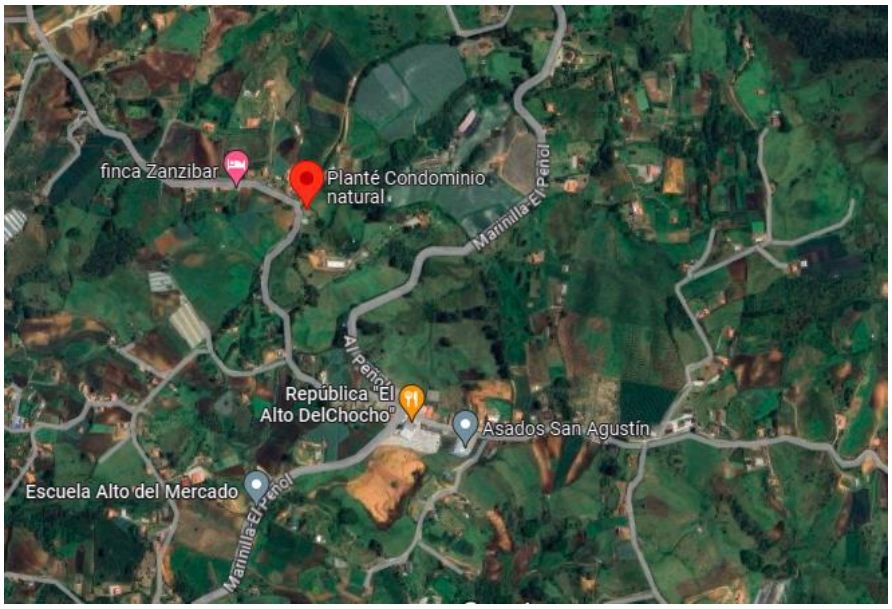
Citando a (Martínez Bencardino, 2019), la media aritmética es una medida ampliamente empleada, ya que resume las propiedades de un conjunto de datos, representando la tendencia central entre ello-s, aun así, esta información por sí sola no proporciona una descripción completa de un conjunto de datos de una variable estadística, como sostiene (Mantilla Gutiérrez, 2014), aunque los promedios establecen el centro, no ofrecen información suficiente sobre la distribución de los datos alrededor de ese punto central, así pues, podría ser un error estimar el rendimiento de mano de obra solo como la media aritmética de los valores, al no considerar la distribución de los datos y su variabilidad. En consecuencia es necesario la implementación de otras medidas que den información sobre la variabilidad de los datos sobre rendimientos MdeO (Mano de obra), como sostiene (Mantilla Gutiérrez, 2014), al mencionar la necesidad de contar con medidas que evalúen la variabilidad con respecto al centro de los datos, con el propósito de enriquecer la descripción de los valores, por otro lado, el autor también resalta la necesidad de una medida que represente la asimetría de los datos a ambos lados del promedio, sugiriendo la estimación de la desviación estándar y el coeficiente de varianza, con el fin de suplir estas necesidades y obtener mas información con respecto a los rendimientos de mano de obra y la representatividad de promedio en relación con los datos.

4 Metodología

La metodología empleada para cumplir los objetivos mencionados anteriormente consto de diversas etapas, algunas de ellas realizadas simultáneamente. Inicialmente se analiza la información suministrada por la empresa sobre el proyecto de Planté, centrándose en los APU´s utilizados para la realización del presupuesto, la cotización final del proyecto y el avance de la obra. Lo anterior es realizado con el fin conocer la cantidad de obra de las actividades faltantes para la culminación del proyecto y escoger los procesos constructivos a comparar, dando prioridad a las actividades no completadas y con mayor cantidad faltante por su instalación, con el fin de recolectar la mayor cantidad de información posible para cada proceso.

Por otro lado, se emplea un nivel de confianza de 95% de los datos, siendo este el recomendado como optimo por (Arboleda Lopez, 2014), para un análisis estadístico de rendimientos de mano de obra en un proyecto de construcción. Por otro lado, se realizan visitas bisemanales al proyecto durante 12 semanas, con el fin de recolectar la información necesaria en la estimación de los rendimientos en las actividades de construcción a evaluar, teniendo en cuenta en este proceso los factores principales que afectan dichos procesos. En base de la información obtenida, se calcula los rendimientos de mano de obra, empleando los datos obtenidos del paso anterior y utilizando el programa de Excel para realizar las estimaciones. Por último, se realiza una evaluación de la información obtenida con la suministrada en la primera fase.

Figura 1. *Ubicación del proyecto. Fuente: Tomado de Google Maps.*



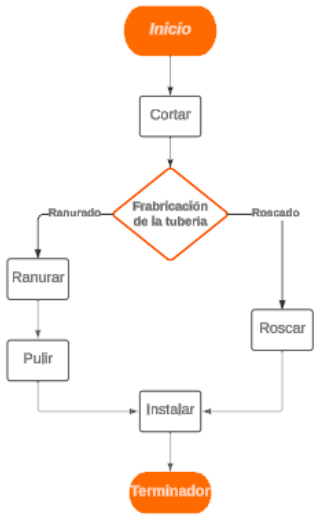
4.1 Selección de muestra

Se examina la información proporcionada por la empresa sobre el proyecto Planté, relacionada con el presupuesto estimado para la obra y su último corte realizado, con el fin de conocer el estado de la obra al inicio de la construcción de la red contra incendios de la obra, además determinar las posibles actividades a comparar al final de este proyecto, al dar prioridad aquellas que tienen mayor cantidad de obra faltante por instalar, con el fin de dar preferencia a los ítems que proporcionen la mayor cantidad de datos posible. Durante esta revisión, se identifican varios ítems que cumplen con las características anteriormente descritas, los cuales son los relacionados con la instalación de tubería de acero al carbón SCH 10 de 1 ¼" y 2", la instalación de acople ranurado rígido de 1 ¼" y 2", además de la instalación de tee mecánica ranurada 2" x 1 ¼".

4.1.1 Instalación de tubería acero al carbón SCH 40

Esta actividad comprende la instalación de tubería de acero al carbón con diferente diámetro para la construcción de la red contra incendio. Dado el grosor de la tubería, se puede fabricar de diversas maneras, al querer emplear elementos roscados o ranurados en su instalación. La actividad contempla el tiempo de fabricación e instalación del elemento, analizando por separado cada uno de los pasos del procedimiento, con el fin de obtener mayor información y detalle acerca de los rendimientos de la mano de obra en esta actividad. La actividad es analizada por unidad (Und) con excepción de la instalación, la cuál se estima por metro lineal (ml) de tubería.

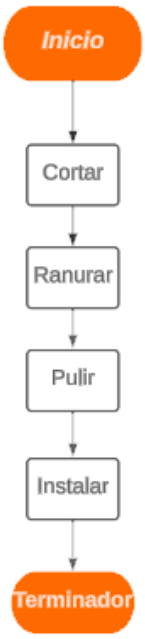
***Figura 2**. Procedimiento para la instalación de tubería A.C SHC 40. Fuente: Autor*



4.1.2 Instalación de tubería acero al carbón SCH 10

Esta tarea implica instalar tuberías de acero al carbón de diversos diámetros con el propósito de construir la red contra incendios. Contrariamente a la tubería SCH 40, el grosor de este tipo de tubería no permite su roscado; por ende, únicamente puede ser ranurada. La tarea incluye el tiempo necesario tanto para la fabricación como para la instalación del elemento, examinado detalladamente cada uno de los pasos del proceso, los cuales son representados el siguiente diagrama de flujo. La actividad es analizada por unidad con excepción de la instalación, la cual se estima por metro lineal de tubería.

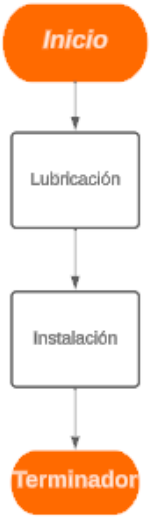
Figura 3. *Procedimiento para la instalación de tubería A.C SHC 10. Fuente: Autor*



4.1.3 Instalación de acople ranurado rígido

En esta tarea se incluye la instalación de un acople ranurado rígido que conecta dos elementos ranurados de la red contra incendios, así como la aplicación de un lubricante en la junta de goma necesaria para la instalación de dicho acople. La actividad es analizada por unidad instalada.

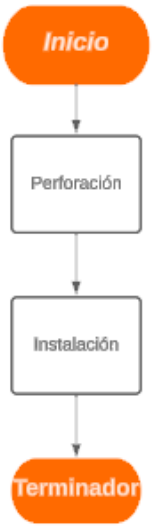
Figura 4. *Procedimiento para la instalación de acople ranurado rígido. Fuente: Autor*



4.1.4 Instalación de tee mecánica ranurada

En el proceso de instalar la tee mecánica ranurada, se consideran los pasos iniciales para perforar la tubería destinada a alojar la tee mecánica. Además, se incluye el tiempo necesario para llevar a cabo la instalación y la nivelación subsiguiente requerida para garantizar su adecuado funcionamiento. La duración total de la instalación del elemento incluye el tiempo requerido en este último paso. La actividad es analizada por unidad instalada.

Figura 5. *Procedimiento para la instalación de tee mecánica ranurada. Fuente: Autor*



4.1.5 Instalación de reducción tuerca 1" x ¾"

El procedimiento abarca todos los pasos esenciales para la instalación de este componente, que van desde la aplicación de la cinta de teflón y vaselina hasta su montaje en el Strap de 1 ¼" x 1" de los ramales de la red contra incendios.

***Figura 6**. Procedimiento para la instalación de reducción tuerca. Fuente: Autor*



4.2 Descripción de personal

Además, se lleva a cabo la revisión del personal a cargado de la construcción de la red contra incendios del proyecto, quienes trabajan en la obra de manera periódica. La información sobre el personal contratado para llevar a cabo la construcción de la RCI se presenta en la tabla siguiente, detallando sus nombres y cargos o categoría. Es relevante destacar que, dentro del personal que la empresa ha contratado para llevar a cabo la construcción de redes contra incendios, únicamente hay un individuo asignado por cargo para esta tarea.

***Tabla 2**. Cantidad de personal por cargo en la construcción de la red contra incendios del proyecto Planté RCI*

Cargo	Cantidad de personal
Oficial 1°	1
Ayudante entendido	1
Ayudante raso	1

4.3 Recolección de información

Se realizan visitas bisemanales a la obra Planté, en las que se obtiene los registros relacionados con las actividades y subactividades realizadas, el tiempo de ejecución, accesorio, diámetro del elemento, cantidad de obra, fecha, personal y registros fotográficos, además de observaciones que ayuden a identificar y analizar el rendimiento en la construcción de RCI, empleando en este proceso la metodología de observación directa en campo, por consiguiente es necesario la elaboración de un formato de medición como instrumento de registro de la información de campo.

Tabla 3. *Formato registro de medición. Fuente: Autor.*

Elaboración de una base de datos de rendimientos en actividades de construcción de redes contra incendios según el marco del proyecto planté. Marinilla, Antioquia. Elaboración por: Sebastián Asprilla Rentería							
Fecha: _____			**Ubicación de actividades: _____**				
Número de personal en la cuadrilla: _____							
Hora inicio	Hora final	Cantidad ejecutada	Variables				
			Actividad	Elemento	Unidad de medida	Diámetro	Observaciones

Luego, los datos recopilados se transfieren a un archivo de Excel para facilitar la clasificación, tabulación y procesamiento, llevando a cabo los cálculos necesarios para estimar los rendimientos en dicho archivo. Es crucial destacar que el resto del procedimiento implica descomponer algunas actividades constructivas en subactividades, con el objetivo de analizar individualmente cada paso del proceso constructivo.

Por otro lado, utilizando la información proporcionada por la empresa, se examina el rendimiento de la mano de obra empleada en los APUs de la cotización del proyecto, con el propósito de contrastarlos con los estimados en campo.

4.4 Estimación de rendimientos

Con el fin de obtener datos representativos de los procesos constructivos observados en obra, se empleará la siguiente metodología para un correcto análisis estadístico del rendimiento del personal en la construcción del proyecto. En principio se calcula el consumo de mano de obra en la actividad o subactividad dependiendo el caso empleando la siguiente ecuación:

$$R = \frac{T * N}{V}$$

Ecuación 1

Donde:

R=Rendimiento en horas/unidad ejecutada.

T=Duración de la actividad en horas.

V=Unidad de trabajo realizado

N=Número de trabajadores que participan en una actividad que pertenecen a una misma categoría.

Posteriormente se calcula la media aritmética o promedio del rendimiento de las actividades, debido a que este valor encapsula o resume las propiedades de un conjunto de datos (Martínez Bencardino, 2019).

$$\bar{x} = \sum_{i=1}^{n} \frac{x_i}{n}$$

Ecuación 2

Donde:

$\bar{x}$ = Media aritmética del rendimiento

x_i= Rendimiento

n = Número de datos.

Desde el punto de vista de (Mantilla Gutiérrez, 2014), el cálculo de la desviación estándar es esencial al momento de realizar un análisis de datos que siguen una distribución normal, por consecuencia, se halla este valor que representa, la distribución de los datos con respecto a la media aritmética. Se debe tener en cuenta que entre menor se desviación estándar la concentración de los valores con respecto al promedio será mayor, y viceversa.

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n} * \sum_{i=1}^{n} (x_i - \bar{x})^2}$$

Ecuación 3

Donde:

σ = Desviación estándar del rendimiento

Previo a la realización del análisis estadístico, se depura la información obtenida en campo, eliminando los datos extremos de las estimaciones del rendimiento de MdeO, empleando el método sugerido por (Botero Botero, 2002). El autor propone, estimar el límite superior de los datos cómo el tercer cuartil más 1.5 veces la desviación estándar, mientras que el límite inferior se estima como el primer cuartil menos 1.5 veces la desviación estándar. Este procedimiento es realizado con el objetivo que los datos extremos no afecten el cálculo de la media aritmética y con ello ningún otro parámetro estadístico del análisis.

$$Lím_{Sup} = Q_3 + 1.5\sigma$$

Ecuación 4

$$Lím_{Inf} = Q_1 - 1.5\sigma$$

Ecuación 5

Donde:

$Lím_{Sup}$ = Límite superior

$Lím_{Inf}$ = Límite inferior

Q_3 = Cuartil superior o tercer cuartil

Q_1 = Cuartil inferior o primer cuartil

Posteriormente, se calcula el coeficiente de varianza de los datos, con el propósito de conocer determinar el grado de precisión de los resultados obtenidos, además de verificar que tan representativo es el promedio con respecto a la totalidad de los datos, esto se interpretara según la clasificación sugerida por (Spiegel, 1976) que se ilustra en la siguiente figura.

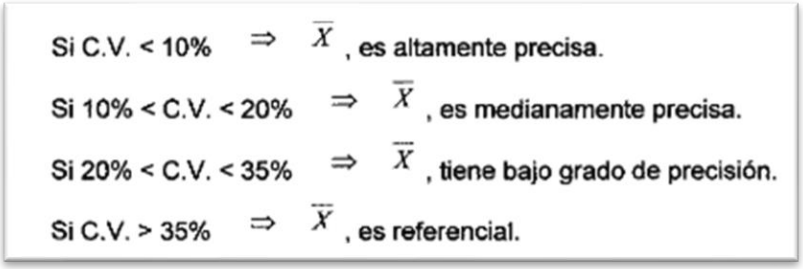
$$c.v = \frac{\sigma}{\bar{x}} \cdot 100$$

Ecuación 6

Donde:

$c.v$ = Coeficiente de varianza.

Figura 7. *Relación del coeficiente de variabilidad con respecto a la representatividad de la media aritmética. Fuente:(Spiegel, 1976)*



Seguidamente, se emplea el método de Curtosis, al ser esencial la verificación de la distribución normal de los datos que se realizará empleando esta metodología y la siguiente ecuación.

$$g_2 = \frac{1}{n} * \frac{\sum_{i=1}^{n} (x_i - \bar{x})^4}{\sigma^4}$$

Ecuación 7

Donde:

g_2 = Curtosis.

Se debe tener en cuenta que según (Velandia Castillo, 2022), la curtosis se cataloga en 3 tipos dependiendo del valor de curtosis hallado, siendo estos los siguientes:

- **Leptocúrtica:** La curtosis > 0. Representa una altamente concentración de los datos alrededor de la media, se observa una distribución con una curva aguda. De igual manera, este tipo de distribución indica la presencia de valores atípicos extremos en los datos, requiriendo la eliminación o depuración de estos.
- **Mesocúrtica:** La curtosis = 0. Los datos representan una distribución normal.
- **Platicúrtica:** La curtosis < 0. Representa una concentración baja de los datos alrededor de la media, evidenciando una distribución con una curva más aplanada. Asimismo, este tipo de distribución representa valores atípicos menos extremos de los datos.

Por último, se estima el intervalo verdadero promedio (I.V.P), siendo este según Rojas Montoya,, 2014), el rango en el cual las estimaciones del verdadero promedio pueden encontrarse, y se determinará utilizando la estimación de la media aritmética, con un nivel de confianza específico del 95% para este estudio. Al momento de emplear la representación matemática del IVP, se debe tener en cuenta en el coeficiente de confiabilidad correspondiente a una distribución t de "Student", este valor es estimado mediante una tabla de distribución acumulativa, esta se presenta en los anexos de este informe.

$$\bar{x} - Z_{1-\frac{\alpha}{2}}\frac{\sigma}{\sqrt{n}} < \mu < \bar{x} + Z_{1-\frac{\alpha}{2}}\frac{\sigma}{\sqrt{n}}$$

Ecuación 8

Donde:

$Z_{1-\frac{\alpha}{2}}$ = Coeficiente de confiabilidad correspondiente al 95%, tomado de la tabla distribución t de Student.

Se utiliza la tabla de distribución "t" de Student con el grado de libertad específico obtenido según el número de observaciones recopiladas de la actividad, con el objetivo de calcular el coeficiente de confiabilidad de la **Ecuación 8**. (Consultar **Anexo 01**).

Finalizando se calcula el valor a seleccionar como representativo del rendimiento de la MdeO de la actividad, siendo la semisuma de los extremos del I.V.P, además se grafica la distribución normal o Gaussiana teórica de los datos en función de la media aritmética y la desviación estándar de cada actividad.

$$Y = \frac{n}{\sigma * \sqrt{2\pi}} e^{\frac{Z^2}{2*\sigma^2}}$$

Ecuación 9

4.5 Evaluación de rendimientos.

Seguidamente, se realiza un contraste de la información obtenida en el paso anterior, con las estimaciones realizadas en los presupuestos del proyecto. Con el propósito de alcanzar este objetivo, se efectúa la suma de la media aritmética y la desviación estándar de los rendimientos estimados con anterioridad, en caso de que la actividad haya sido desglosada en segmentos para su análisis, teniendo así, una función de distribución normal que la representa. Este enfoque sigue la propuesta de (Seijas Macías, 2020), que establece que, *"dadas X y Y variables aleatorias independientes con medias* μ_x *y* μ_y*, y varianzas* σ_x^2*,* σ_y^2*, entonces la suma X +Y también se distribuye normalmente con media* $\mu_x + \mu_y$ *y varianza* $\sigma_x^2 + \sigma_y^2$ *"(p, 32).* Por último, se actualiza la base de datos de análisis de precios unitarios de redes contra incendios de la empresa con los rendimientos calculados.

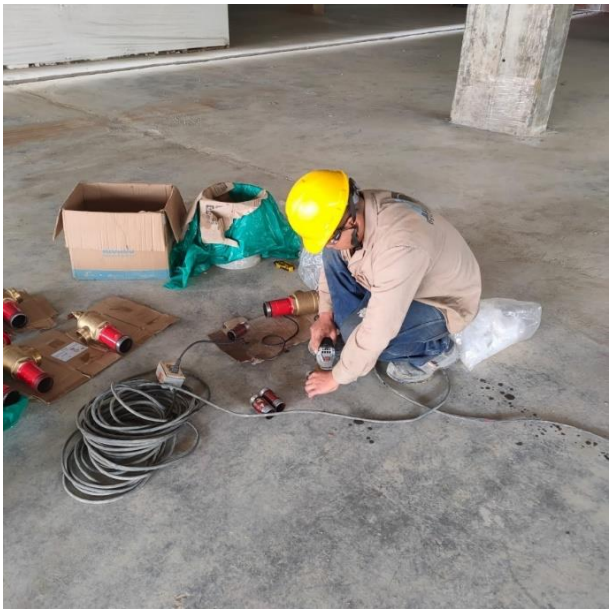
5 Resultados

La sección de resultados de este informe destaca los principales hallazgos derivados de este trabajo, realizado con el fin de examinar la estimación utilizada para calcular los rendimientos de mano de obra en la edificación de la red contra incendios en el proyecto Planté. Con el propósito de conseguir este objetivo, se crea una base de datos en Excel, en la cual se registran, tabula y calcula los consumos de mano de obra que serán empleados en próximos proyectos de la empresa. Este procedimiento es realizado con el fin de aumentar la viabilidad de posteriores construcciones de este tipo de redes, al emplear métodos más precisos en la estimación de dichos rendimientos. A continuación, se muestran el registro fotográfico de algunas de las visitas realizadas durante la práctica.

Fotografía 1. *Roscado de tubería. Fuente: Autor.*



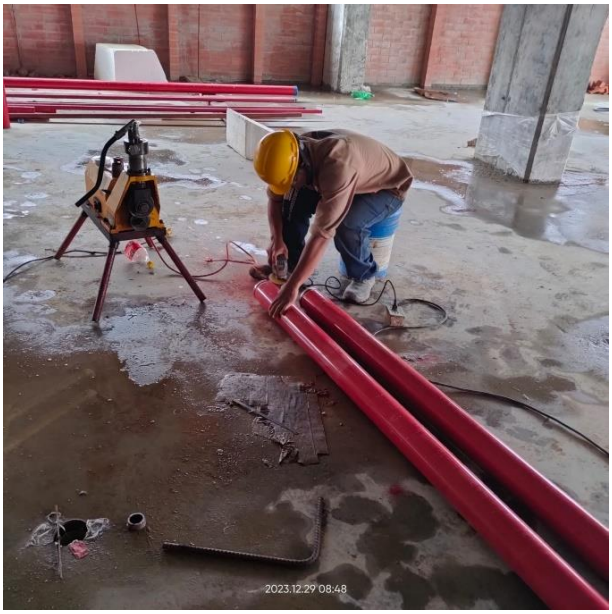
Fotografía 2*. Pulición de niple de tubería. Fuente: Autor.*



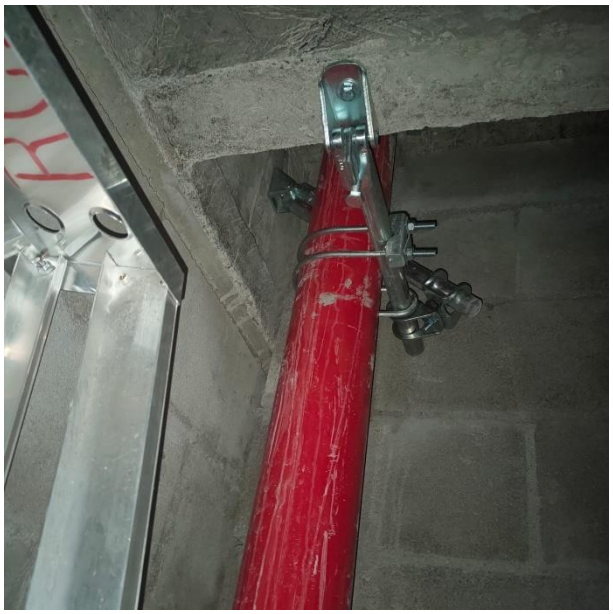
Fotografía 3*. Ranurado de tubería 4" SCH 10. Fuente: Autor.*



Fotografía 4*. Pulida de tubería 4" SCh 10. Fuente: Autor.*



***Fotografía 5**. Instalación de soporte 4 vías de 4". Fuente: Autor.*



***Fotografía 6**. Tubería SCH 10 de 4" para la instalación de válvula de toma para bomberos. Fuente: Autor.*



***Fotografía 7**. Junta sísmica realizada con codo y acoples ranurados de 1 1/4". Fuente: Autor*



5.1 Recolección de información

En la **Tabla 4** se encuentra el listado de las actividades a comparar en este informe, su unidad de medida y el rendimiento de mano de obra empleado en el APU del proyecto.

***Tabla 4**. Rendimientos de mano de obra empleados en la cotización del proyecto Planté para la construcción de la red contra incendios. Fuente: Autor.*

Actividades	Unidad	Rendimiento Cot [min/unidad]
Tubería 1 1/4" sch 10	ml	29,08
Acople ranurado rígido 1 1/4"	und	18,12
Reducción tuerca 1" x 3/4"	und	9,64
Tee mecánica renurada 2" x 1 1/4"	und	18,12

En el trascurso de las inspecciones a la obra, se recolecta información sobre la duración, números de trabajadores y elementos empleados en las actividades constructivas realizadas, además de detalles que ayuden a identificar y analizar el rendimiento en la construcción de redes contra incendio (RCI). De las 21 visitas de obra realizadas, se recolectaron un total de 462 datos para el análisis de rendimientos de mano de obra. En la **Tabla 5** se muestra un ejemplo del resultado obtenido durante las visitas de campo posterior al traslado de la información al archivo de Excel.

Tabla 5 *Duración de las actividades de construcción de RCI realizadas en Planté el 3 noviembre de 2023. Fuente: Autor.*

Observación 3						
Día	**jueves, 19 de octubre de 2023**					
Personal	Jair Arrieta					
	Jhonatan Ramirez					
	Daniel Velez					
Lugar	**Sotano 2**					
Actividades	**Elemento**	**Diametro[in]**	**Unidad**	**Cantidad**	**Tiempo(Min:Seg)**	**Duración(min)**
Pulición	Tubería A.C Sch 10	1 1/4	ml	0,1	21:28:28	21,47
Pulición	Tubería A.C Sch 10	1 1/4	ml	0,1	16:06:21	16,10
Instalación	Tubería A.C Sch 10	1 1/4	ml	0,1	2:15:54	2,25
Pulición	Tubería A.C Sch 10	1 1/4	ml	0,1	0:21:55	0,35
Instalación	Niple Tubería A.C Sch 10	1 1/4	ml	0,1	16:31:08	16,52
Instalación	Niple Tubería A.C Sch 10	1 1/4	ml	0,1	14:42:07	14,70
Instalación	Niple Tubería A.C Sch 10	1 1/4	ml	0,1	13:32:44	13,53
Corte	Tubería A.C Sch 10	1 1/4	ml	0,1	8:18:03	8,30
Ranurado	Tubería A.C Sch 10	1 1/4	ml	0,1	22:42:49	22,70
Corte	Tubería A.C Sch 10	1 1/4	ml	0,1	8:45:18	8,75
Ranurado	Tubería A.C Sch 10	1 1/4	ml	0,1	19:54:19	19,90
Corte	Tubería A.C Sch 10	1 1/4	ml	0,1	8:23:00	8,38
Ranurado	Tubería A.C Sch 10	1 1/4	ml	0,1	23:32:22	23,53
Corte	Tubería A.C Sch 10	1 1/4	ml	0,1	6:11:41	6,18
Pulición	Tubería A.C Sch 10	1 1/4	ml	0,1	23:02:38	23,03
Pulición	Tubería A.C Sch 10	1 1/4	ml	0,1	2:15:54	2,25
Pulición	Tubería A.C Sch 10	1 1/4	ml	0,1	20:48:50	20,80
Pulición	Tubería A.C Sch 10	1 1/4	ml	0,1	0:07:03	0,12
Pulición	Tubería A.C Sch 10	1 1/4	ml	0,1	22:08:07	22,13
Pulición	Tubería A.C Sch 10	1 1/4	ml	0,1	19:49:22	19,82
Instalación	Acople ranurado rígido	1 1/4	Und.	1	12:56:08	12,93
Instalación	Acople ranurado rígido	1 1/4	Und.	1	16:31:08	16,52
Instalación	Acople ranurado rígido	1 1/4	Und.	1	19:29:32	19,48
Instalación	Acople ranurado rígido	1 1/4	Und.	1	16:50:57	16,83

5.2 Estimación de rendimientos

Una vez recopilada la información pertinente en el archivo de Excel, se procede a estimar el rendimiento del personal en función de la actividad a realizar, el diámetro del elemento u otra característica especial si es el caso. Posteriormente son depuran los resultados atípicos obtenidos de los rendimientos calculados previamente, expresado como los minutos que una cuadrilla tarda en realizar determinada actividad, de manera que se pudiera comparar con los rendimientos empleados para la realización del presupuesto del proyecto.

Tabla 6 *Tabla de estimación de rendimientos de MdeO. Fuente: Autor*

# Dat	Día	Actividades	Elemento	Diametro[i	Unida	Cantid	Rendimiento[min/un	Rendimiento Depurado[min/u
1	6/10/2023	Corte	Tubería A.C Sch 10	2	ml	1.07	9.15	9.15
2	6/10/2023	Ranurado	Tubería A.C Sch 10	2	ml	1.07	23.68	23.68
3	6/10/2023	Pulición	Tubería A.C Sch 10	2	ml	1.07	8.74	8.74
4	6/10/2023	Instalación	Tubería A.C Sch 10	2	ml	1.07	12.61	12.61
5	6/10/2023	Corte	Tubería A.C Sch 10	2	ml	1.07	8.05	8.05
6	6/10/2023	Ranurado	Tubería A.C Sch 10	2	ml	1.07	24.50	24.50
7	6/10/2023	Pulición	Tubería A.C Sch 10	2	ml	1.07	7.71	7.71
8	6/10/2023	Corte	Tubería A.C Sch 10	2	ml	3.89	10.46	10.46
9	6/10/2023	Ranurado	Tubería A.C Sch 10	2	ml	3.89	26.02	26.02
10	6/10/2023	Pulición	Tubería A.C Sch 10	2	ml	3.89	22.30	22.30
11	6/10/2023	Instalación	Tubería A.C Sch 10	2	ml	0.5	28.63	
12	12/10/2023	Corte	Tubería A.C Sch 10	2	ml	5.8	9.77	9.77
13	12/10/2023	Ranurado	Tubería A.C Sch 10	2	ml	5.8	17.76	17.76
14	12/10/2023	Pulición	Tubería A.C Sch 10	2	ml	5.8	28.63	28.63
15	12/10/2023	Instalación	Tubería A.C Sch 10	2	ml	5.8	2.14	2.14
16	12/10/2023	Instalación	Acople ranurado rígido	1 1/4	Und.	1	8.26	8.26
17	12/10/2023	Corte	Tubería A.C Sch 10	1 1/4	ml	5.8	5.78	5.78
18	12/10/2023	Ranurado	Tubería A.C Sch 10	1 1/4	ml	5.8	23.20	23.20
19	12/10/2023	Pulición	Tubería A.C Sch 10	1 1/4	ml	5.8	24.98	24.98
20	12/10/2023	Instalación	Tubería A.C Sch 10	1 1/4	ml	5.8	1.66	1.66
21	12/10/2023	Instalación	Tubería A.C Sch 10	1 1/4	ml	5.8	2.02	2.02
22	12/10/2023	Instalación	Tubería A.C Sch 10	1 1/4	ml	5.8	2.02	2.02
23	12/10/2023	Instalación	Tubería A.C Sch 10	1 1/4	ml	5.8	1.66	1.66
24	12/10/2023	Instalación	Tubería A.C Sch 10	1 1/4	ml	5.8	2.25	2.25
25	12/10/2023	Instalación	Tubería A.C Sch 10	1 1/4	ml	5.8	2.20	2.20
26	12/10/2023	Corte	Tubería A.C Sch 10	1 1/4	ml	3.5	6.13	6.13
27	12/10/2023	Corte	Tubería A.C Sch 10	1 1/4	ml	3.5	5.85	5.85
28	12/10/2023	Corte	Tubería A.C Sch 10	1 1/4	ml	1.26	5.92	5.92

Seguidamente, se crea una tabla dinámica con respecto a los rendimientos de mano de obra depurados, con el fin de resumen parte de los resultados obtenidos del anterior procedimiento, además de simplificar procesos y contribuye a definir aspectos fundamentales para la estimación de los rendimientos. En esta se observa el rendimiento promedio de cada actividad, calculado con la **Ecuación 2**, asimismo, se utiliza la **Ecuación 3** con el objetivo de calcular la desviación estándar del consumo de mano de obra, además de determinar el rendimiento máximo y mínimo por actividad. En dicha tabla, también se observa la cantidad de información recolectada por subactividad durante las visitas campo, después de la depuración de los datos atípicos.

Tabla 7 *Tabla resumen de los rendimientos de mano de obra. Fuente: Autor.*

Rendimientos de actividades					
Etiquetas de fila	Promedio[min/und]	Desviación[min/und]	Máx [min/und]	Mín [min/und]	# Datos
⊟					
⊟Instalación					
1,25	19,08	4,84	29,29	8,37	80,00
⊟Lubricado					
1,25	6,66	1,94	10,02	4,29	16,00
⊞Reducción tuerca	24,42	4,93	33,81	17,84	14,00
⊟Tee mecánica ranurada					
⊟Instalación					
2 x 1 1/4	35,17	5,26	41,74	25,99	11,00
⊟Perforación					
2 x 1 1/4	45,27	1,81	48,24	42,29	12,00
⊟Tubería A.C Sch 10					
⊟Corte					
1,25	9,43	1,29	11,67	6,83	24,00
⊟Instalación					
1,25	4,80	1,53	8,40	1,97	55,00
⊟Pulición					
1,25	28,73	5,71	41,19	17,18	46,00
⊟Ranurado					
1,25	25,32	5,53	37,11	15,42	24,00

A partir de las visitas de campo llevadas a cabo durante este estudio, se han recopilado 462 datos con relación a rendimientos de mano de obra para la construcción de redes contra incendio, los cuales son utilizados en este informe. Además, se observa que la información recabada se compone principalmente de actividades relacionadas con la instalación de tubería SCH 10 de 1 ¼" y 2", colocación de tee mecánica ranurada de 2 x 1 ¼" e instalación de acople ranurado 1 ¼". Estos elementos son empleados en la construcción de los ramales de la red contra incendios. Además, aunque en menor medida, la información recopilada también se enfoca en la instalación de tubería SCH 40 de 1 ½" y 2 ½", así como en la colocación de reducción tuerca ¾", indispensable para la instalación de los rociadores.

Los resultados de la actividad de instalación de tubería SCH 10 1 ¼" en el proyecto, se presenta en la **Tabla 7**, en donde se muestran los rendimientos de la actividad dividido en subactividades, las cuales en su totalidad representan el rendimiento de la actividad, siendo estas las mostradas en la metodología del presente informe.

En el proceso de corte de la tubería, se logra un rendimiento promedio de 7.07 min/und, según los datos de la **Tabla 8Tabla 8** Análisis estadístico corte de tubería sch10 1 1/4". Fuente: Autor.. Además, el coeficiente de variación sugiere que el promedio estimado es relativamente preciso y representativo en relación con la muestra. Asimismo, se observa una curtosis de tipo

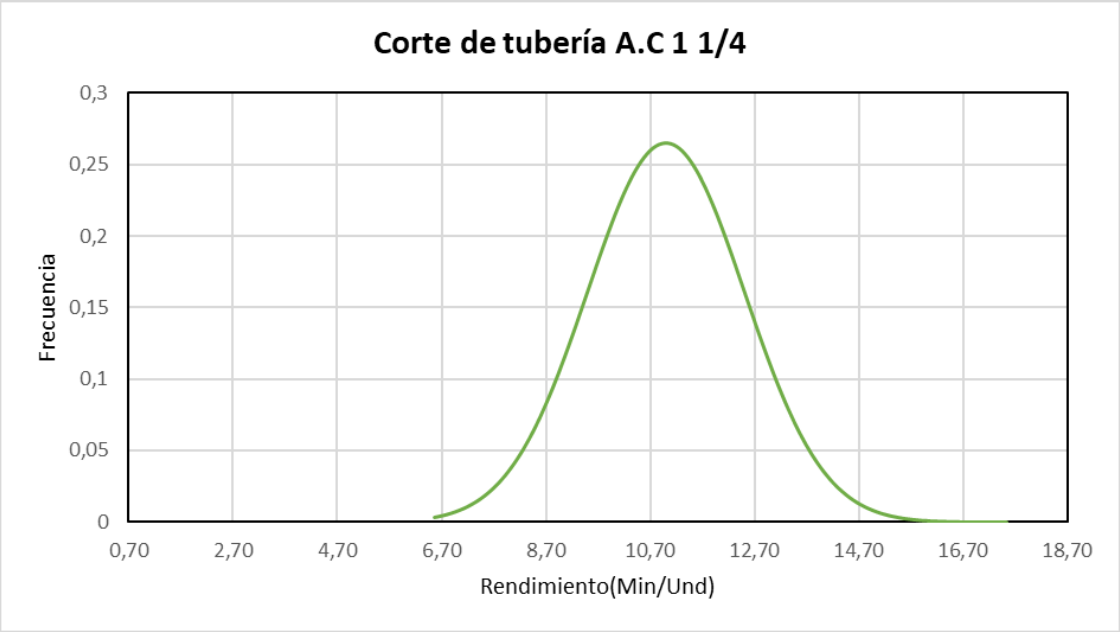
platicúrtica, lo que indica la presencia de valores atípicos menos extremos en los datos, además de indicar una curva normal aplanada. Por lo tanto, estos valores se consideran aceptables para el análisis del rendimiento.

No obstante, es importante destacar que la curtosis es inferior a 0, lo cual indica una dispersión reducida de los datos en torno a la media y una distribución normal relativamente plana. Este aspecto adquiere relevancia en el contexto del Índice de Valor Predictivo (I.V.P.). El valor seleccionado será el promedio entre los límites del intervalo verdadero promedio, establecido en 11.00 min/und, siendo este valor equivalente a 2.97 min/ml, al tener en cuenta la longitud promedio de los cortes realizados en la instalación de este tipo de tubería.

Tabla 8 *Análisis estadístico corte de tubería sch10 1 1/4". Fuente: Autor.*

Corte de tubería SCH 10 1 ¼” **(min/und)**	
Media aritmética	11,00
Desviación estándar	1,51
Coeficiente de variación	0.14
Curtosis	-0.50
I.V.P Inferior	10,36
I.V.P Superior	11,63

Figura 8 *Distribución normal teórica de corte de tubería A.C SHC 10 de 1 1/4". Fuente: Autor.*

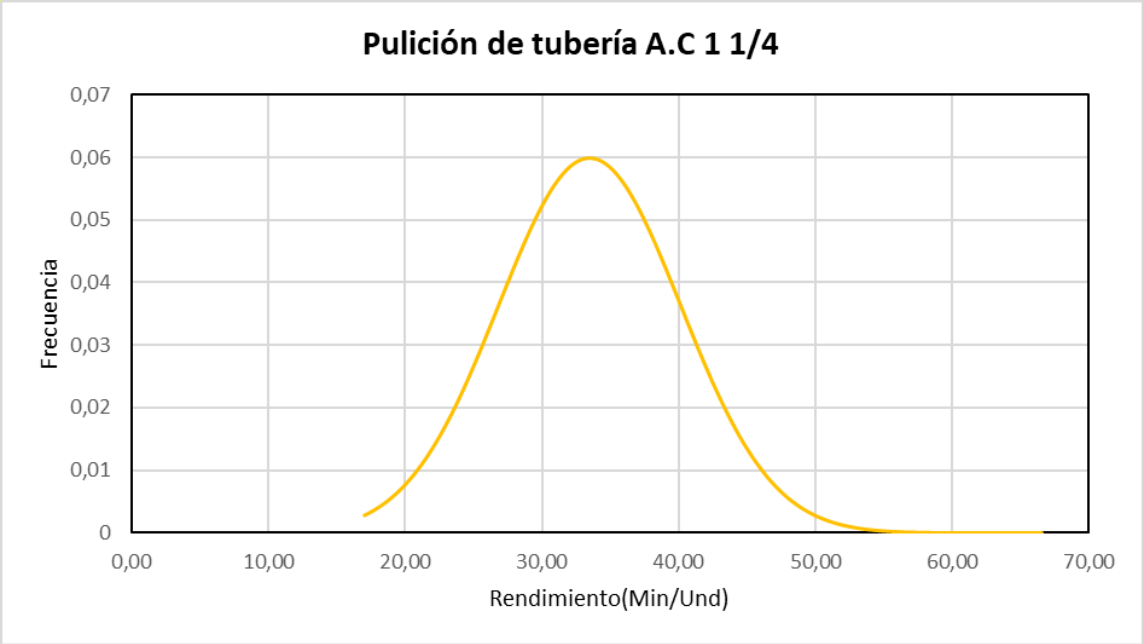


El coeficiente de variación de la actividad de pulir la tubería de 1 ¼, indica mucha variación en los datos con respecto al promedio, siendo así el promedio poco representativo con respecto a los datos. Por otro lado, la curtosis es tipo platicúrtica, al ser la curtosis menor a cero, indicando valores atípicos menos extremos, además de una dispersión limitada de los datos alrededor de la media. El valor escogido para el rendimiento de la actividad será de 33.51 min/und. Se debe considerando que este índice es igual a 7.64 minutos por metro lineal de tubería instalado

Tabla 9 *Análisis estadístico pulida de tubería sch10 1 1/4". Fuente: Autor.*

Pulida de tubería SCH 10 1 ¼” **(min/und)**	
Media aritmética	33,51
Desviación estándar	6,66
Coeficiente de variación	0.20
Curtosis	-0.40
I.V.P Inferior	31,52
I.V.P Superior	35,50

Figura 9 *Distribución normal teórica de pulir de tubería A.C SHC 10 de 1 1/4". Fuente: Autor.*

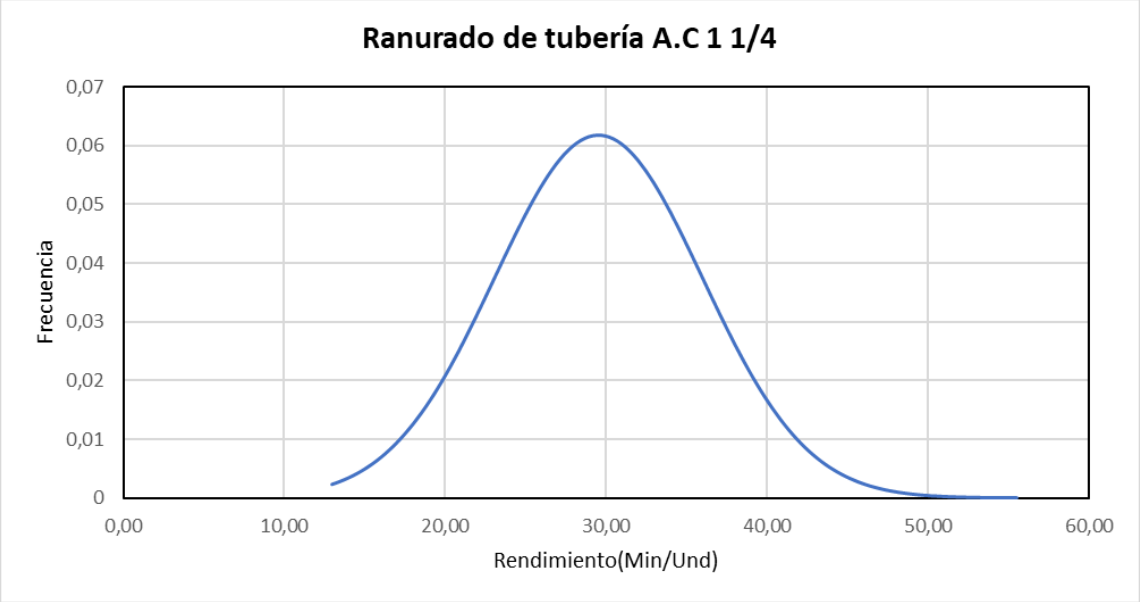


Para la operación de ranurado la tubería SCH 10 1 ¼", se logra un rendimiento promedio de 29.52 min/und, Además, el coeficiente de variación sugiere que este promedio es poco preciso, esto se debe tener en cuenta el momento de utilizar este promedio. En contraste, la curtosis exhibe un perfil platicúrtico al ser menor a cero, lo que sugiere la presencia de valores atípicos menos pronunciados y una dispersión moderada de los datos en relación con la media. Se ha seleccionado un valor de 29.52 min/und para medir el rendimiento de la actividad. Es necesario tener en cuenta que este valor equivale a 8.84 min/ml.

Tabla 10 *Análisis estadístico ranurado de tubería sch10 1 1/4". Fuente: Autor.*

Ranurado de tubería SCH 10 1 ¼" **(min/und)**	
Media aritmética	29,52
Desviación estándar	6,45
Coeficiente de variación	0.22
Curtosis	-0.42
I.V.P Inferior	26,81
I.V.P Superior	32,24

Figura 10 *Distribución normal teórica de ranurado de tubería A.C SHC 10 de 1 1/4". Fuente: Autor.*

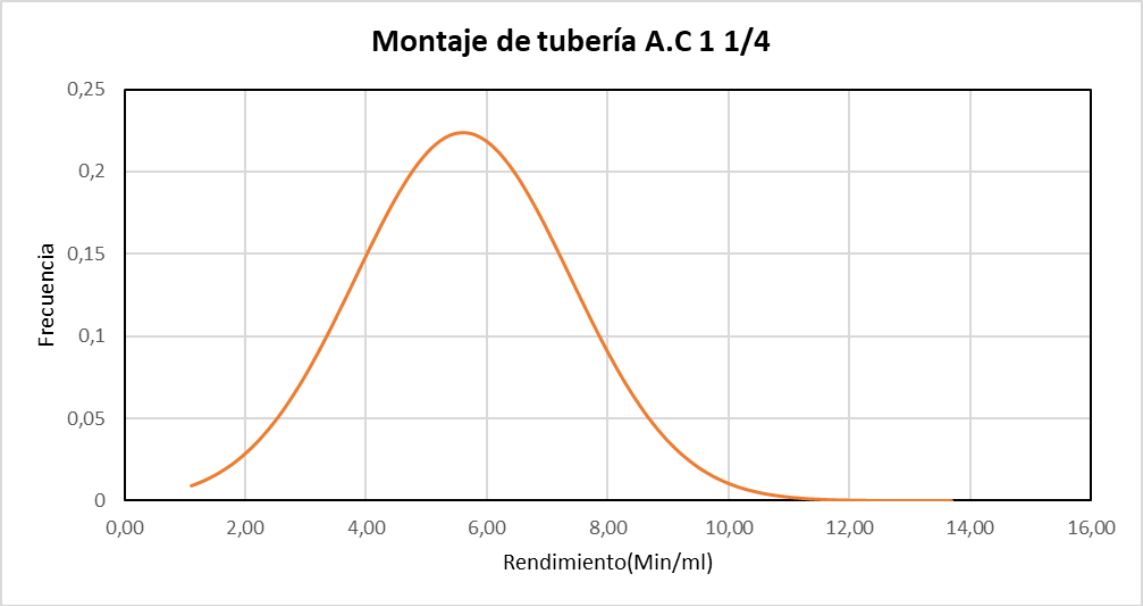


El coeficiente de variación para la tarea de montaje de la tubería de 1 ¼" muestra una considerable variabilidad en los datos en relación con el promedio, consecuentemente, la media aritmética estimada en la actividad es solamente referencial con respecto a la muestra, este valor proporciona una noción de los rendimientos de la mano de obra, pero no se percibe como un indicador representativo de la muestra. Por otro lado, la curtosis presenta un patrón platicúrtico, indicando que los valores atípicos son menos extremos, aspecto considerado como aceptable. Se ha seleccionado un valor de 5.60 min/ml para medir el rendimiento de la actividad.

Tabla 11 *Análisis estadístico montaje de tubería sch10 1 1/4". Fuente: Autor.*

Montaje de tubería SCH 10 1 ¼" **(min/ml)**	
Media aritmética	5,60
Desviación estándar	1,78
Coeficiente de variación	0.32
Curtosis	-0.58
I.V.P Inferior	5,12
I.V.P Superior	6,09

Figura 11 *Distribución normal teórica de montaje de tubería A.C SHC 10 de 1 1/4". Fuente: Autor.*



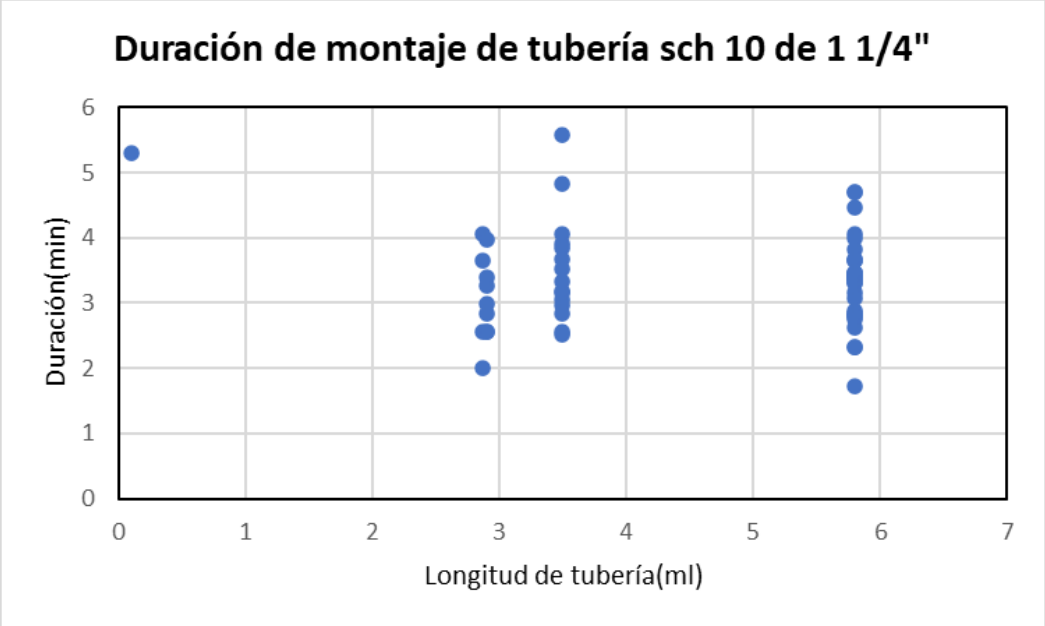
Con el propósito de justificar la baja precisión en la estimación del rendimiento promedio de la actividad, se procede a un análisis detallado de la misma. Se destaca que, en contraste con otras subactividades examinadas en la instalación de este tipo de tubería, la evaluación del rendimiento de esta actividad se realiza por metro lineal instalado. En consecuencia, la eficiencia de la actividad está directamente vinculada a la cantidad de tubería que se coloca en cada fase de su instalación.

No obstante, no se observa desde un análisis visual una relación entre la duración del montaje de este tipo de tubería y el tamaño de esta. Así, por ejemplo, la duración promedio de la instalación de tubería de 2.9ml es similar a la tubería de 5.8ml y 3.5ml, de donde se infiere que la longitud de la tubería es indiferente a la duración del montaje de esta para el diámetro de tubería analizado. Sin embargo, el rendimiento de la actividad es estimado con relación a los metros lineales instalados. Esta medida se utiliza tradicionalmente en la cotización para la construcción de proyectos de este tipo, ya que refleja la forma convencional de cobro. En estos casos, no representa un inconveniente, ya que la instalación de la tubería se realiza en su mayor parte de manera continua, sin la necesidad frecuente de realizar cortes en la tubería.

Debido a esta métrica de evaluación, la desviación estándar y, por consiguiente, el coeficiente de variación de la muestra en cuestión presenta valores más elevados. Esto resulta en

promedios que pueden no ser representativos de manera precisa de la muestra, ya que la variabilidad en la duración de la instalación se ve influenciada por la longitud de la tubería. Es esencial considerar estos factores al interpretar los resultados y al realizar análisis comparativos en relación con el rendimiento de la actividad. No obstante, es primordial el tener en cuenta la relación entre la longitud de la tubería y la duración de la actividad para estimar el rendimiento de la actividad.

Figura 12 *Duración de montaje de tubería sch 10 de 1 1/4". Fuente: Autor.*



Es crucial destacar que la ejecución de la obra se ha caracterizado por ser atípica en lo que respecta a la instalación de este tipo específico de tubería. A lo largo del proyecto, se han enfrentado con frecuencia inconvenientes en la obra que han exigido modificaciones continuas en la tubería, incluyendo desvíos, cortes y reinstalaciones. Esta situación ha tenido un impacto negativo en la estimación de los rendimientos previstos, al tener que analizar diferentes longitudes de tubería durante la construcción del proyecto que generan grandes variaciones en el análisis de los rendimientos del personal.

Es relevante señalar que, en proyectos de esta índole, la norma común es la instalación de tubos completos de 5.8 ml. Sin embargo, en este caso particular, el proyecto se ha distinguido por

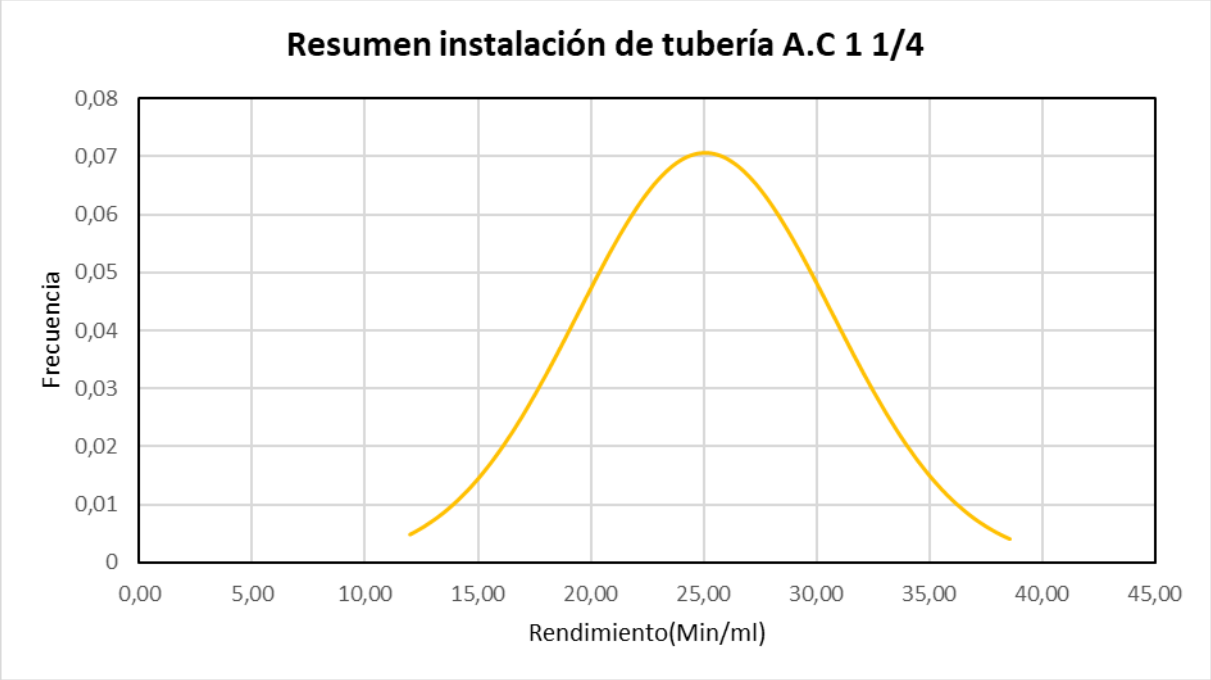
su naturaleza atípica en cuanto a la estimación del montaje de tubería de 1 ¼". Este contexto inusual debe ser considerado al evaluar y comparar los resultados y desempeños del proyecto en relación con las expectativas convencionales.

Por otro lado, con el propósito de contrastar el rendimiento utilizado en la cotización para la instalación de la tubería a.c shc 10 de 1 ¼", y el rendimiento estimado en campo para la misma actividad, se lleva a cabo la suma de los promedios y desviaciones estándar obtenidos de las subactividades. De ese procedimiento se obtiene un rendimiento promedio 25.06 min/ml y desviación estándar de 4.84 min/ml con respecto a todos los pasos que contemplan la instalación de tubería a.c sch 10 de 1 ¼". Subsecuentemente, se determina el coeficiente de varianza de la actividad, el cual tiene un valor de 0.23, indicando que el promedio estimado inicial muestra un bajo grado de precisión. En otras palabras, este valor es considerado como referencial con respecto a la muestra, sirviendo, así como un punto de comparación preliminar para evaluar el rendimiento de la actividad. Esto se debe principalmente a la baja precisión en la subactividad de montaje de la tubería considerada en esta actividad. Debido a esto, se busca medidas más detalladas con el fin de obtener mayor información del consumo de mano de obra de este proceso constructivo, al graficar la función de distribución normal de la actividad, la cual se muestra en la siguiente ilustración.

Tabla 12. *Análisis estadístico instalación de tubería sch10 1 1/4". Fuente: Autor.*

Instalación de tubería SCH 10 1 ¼" **(min/ml)**	
Media aritmética	25,06
Desviación estándar	5,64
Coeficiente de variación	0.23

Figura 13 *Distribución normal teórica de instalación de tubería A.C SHC 10 de 1 1/4". Fuente: Autor.*



Al examinar los rendimientos asociados con la instalación de tuberías de acero a carbón ranuradas, se evidencia que el tiempo requerido para llevar a cabo dicho proceso está directamente ligado a la fase de fabricación de las propias tuberías. Es notorio que la elaboración de las tuberías constituye la etapa más extensa y detallada de todo el procedimiento, siendo para el caso de la tubería de 1 ¼" el 78% de la duración total de la actividad, dejando el resto para el montaje de la tubería. En este contexto, la instalación en sí misma se presenta como un procedimiento significativamente más ágil.

La instalación de una tee mecánica en una tubería de acero al carbón requiere la perforación de la tubería donde se colocará el accesorio, siendo en este caso una tubería de 2 pulgadas de diámetro. En este proceso, se logró un rendimiento promedio de 52.80 minutos por cada tubería perforada, además de 41.02 minutos por la instalación del accesorio.

Por otro lado, el coeficiente de variación indica que el promedio de las actividades es altamente preciso en las actividades siendo estas analizadas por separado, lo que hace representativa a la media aritmética de los rendimientos en relación con la muestra obtenida.

También se observa una curtosis de tipo platicúrtica, lo que sugiere la presencia de valores atípicos menos extremos en los datos y una curva normal relativamente aplanada. En consecuencia, estos resultados se consideran aceptables para el análisis del rendimiento.

No obstante, al examinar estas subactividades, es esencial resaltar la escasa cantidad de datos recopilados en el terreno, siendo esta la razón principal del incremento en los intervalos de confianza, incluso considerando los bajos coeficientes de variación asociados a dichas actividades.

Tabla 13 *Análisis estadístico perforación de tubería sch10 2". Fuente: Autor.*

Perforación de tubería SCH 10 de 2” **(min/und)**	
Media aritmética	52,80
Desviación estándar	2,11
Coeficiente de variación	0.04
Curtosis	-0.28
I.V.P Inferior	51,47
I.V.P Superior	54,12

Figura 14 *Distribución normal teórica de perforación de tubería A.C SHC 10 de 2". Fuente: Autor.*

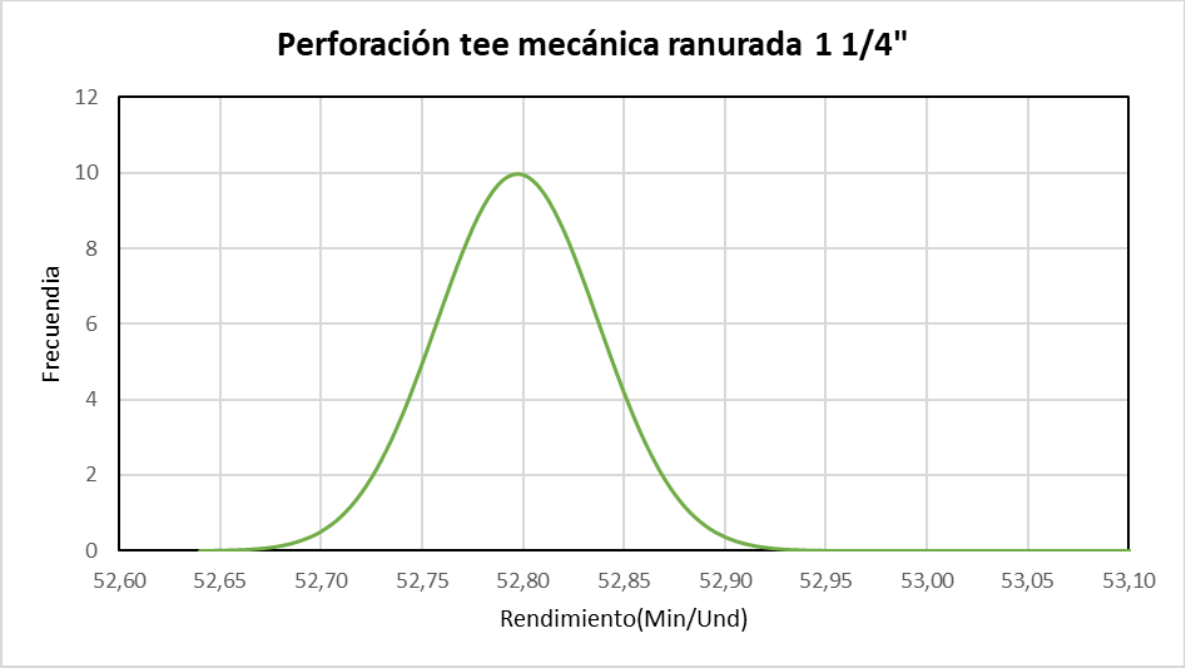
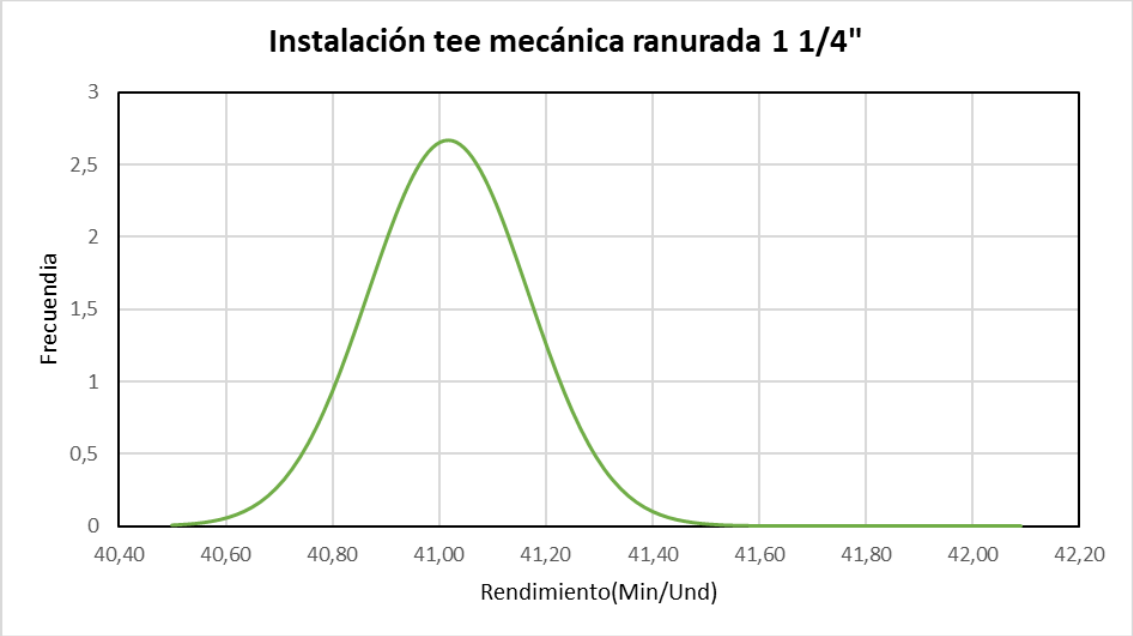


Tabla 14 *Análisis estadístico instalación de tee mecánica ranurada de 2x1 1/4". Fuente: Autor.*

Instalación de tee mecánica ranurada 2” x 1 ¼” (**min/und)**	
Media aritmética	41,02
Desviación estándar	6,13
Coeficiente de variación	0.15
Curtosis	-0.77
I.V.P Inferior	36,95
I.V.P Superior	45,09

Figura 15 *Distribución normal teórica de instalación de tee mecánica 2" x 1 ¼”. Fuente: Autor.*

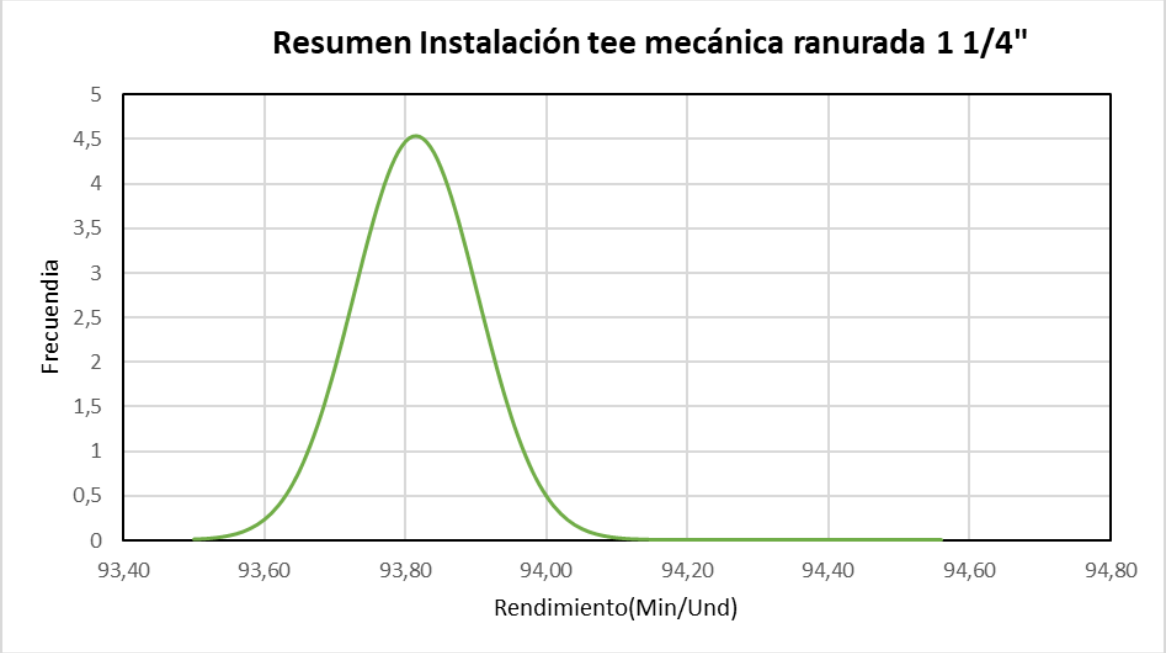


En la siguiente tabla se observa el resumen del análisis estadístico realizado a la actividad, en la que se observa el promedio, la desviación estándar y el coeficiente de varianza relacionado con los rendimientos de mano de obra en la instalación de una tee mecánica 2” 1 ¼”. Este análisis abarca la perforación del tubo de 2”, la instalación del accesorio y su nivelación, tiempo que se incorpora en la evaluación de la instalación. Es crucial señalar la elevada precisión de la media aritmética en relación con la representatividad de la muestra.

Tabla 15 *Resumen del análisis estadístico instalación de tee mecánica ranurada de 2" x1 1/4". Fuente: Autor.*

Resumen Instalación de tee mecánica ranurada 2" x 1 ¼" (**min/und)**	
Media aritmética	93,81
Desviación estándar	8,24
Coeficiente de variación	0.09

Figura 16 *Distribución normal teórica del resumen de la instalación de tee mecánica ranurada 2" x 1 ¼". Fuente: Autor.*



Al examinar detenidamente los gráficos y tablas presentados anteriormente, se constata que, en la instalación de una tee mecánica ranurada, se destaca que el proceso de perforación de la tubería, siendo esta la etapa que demanda relativamente más tiempo para la ejecución de la actividad. A pesar de que la instalación del elemento en sí constituye un procedimiento relativamente menos prolongado, no se puede subestimar su duración. El rendimiento obtenido al analizar la totalidad de la actividad es de 93.81 minutos por unidad.

La instalación de un acople ranurado rígido requiere la lubricación del empaque del acople como parte del proceso de instalación del elemento. Al analizar este procedimiento, se nota un

rendimiento promedio de 7.76 minutos por unidad o empaque lubricado. Sin embargo, al examinar el coeficiente de variación de la muestra, se evidencia que la precisión de esta media aritmética es baja, lo que indica que no es muy representativa para la totalidad de la muestra. En este contexto, es crucial tener en cuenta otras características estadísticas de este conjunto de datos. Además, se observa una curtosis de tipo platicúrtica, sugiriendo una distribución normal menos concentrada alrededor de la media.

Es necesario resaltar la escasa cantidad de datos recopilados en el terreno. Este factor puede tener un impacto significativo en los resultados obtenidos durante el análisis de la actividad, ya que la limitación en la cantidad de datos puede afectar la precisión y representatividad de las conclusiones derivadas del estudio.

Por otro lado, en lo que respecta a la actividad de instalación de este acople, se logra obtener una media aritmética del rendimiento del proceso de 22.25 min/und. Al analizar los datos asociados a este proceso, se observa un coeficiente de variación significativamente alejado de 0, lo cual señala que el promedio presenta baja precisión y representatividad en relación con los datos analizados. Además, la curtosis revela características de distribución similares a las identificadas en la actividad anterior.

Tabla 16 *Análisis estadístico lubricación de acople ranurado de 1 1/4. Fuente: Autor.*

Lubricación de acople ranurado rígido 1 ¼ "(**min/und)**	
Media aritmética	7,76
Desviación estándar	2,27
Coeficiente de variación	0.29
Curtosis	-0.23
I.V.P Inferior	6,56
I.V.P Superior	8,96

Figura 17 *Distribución normal teórica de la lubricación de acople rígido ranurado 1 ¼". Fuente: Autor.*

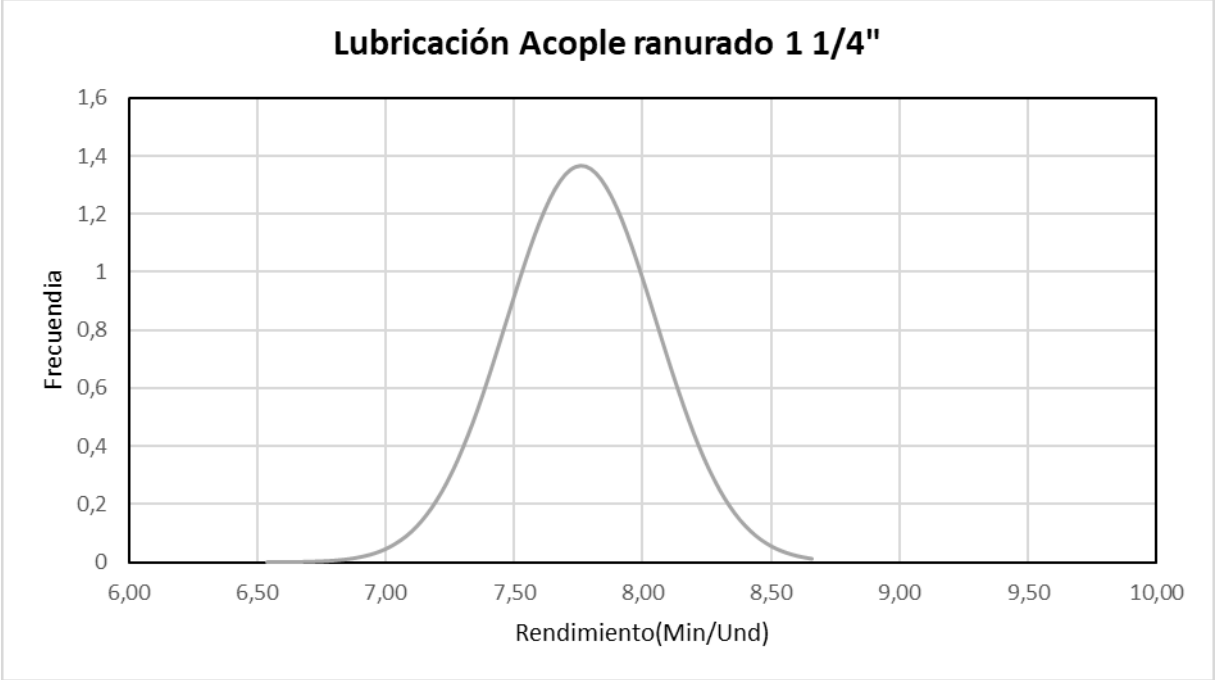


Tabla 17 *Análisis estadístico instalación de acople ranurado de 1 1/4. Fuente: Autor.*

Instalación de acople ranurado rígido 1 ¼" **(min/und)**	
Media aritmética	22,25
Desviación estándar	5,64
Coeficiente de variación	0.25
Curtosis	-0.23
I.V.P Inferior	20,99
I.V.P Superior	23,51

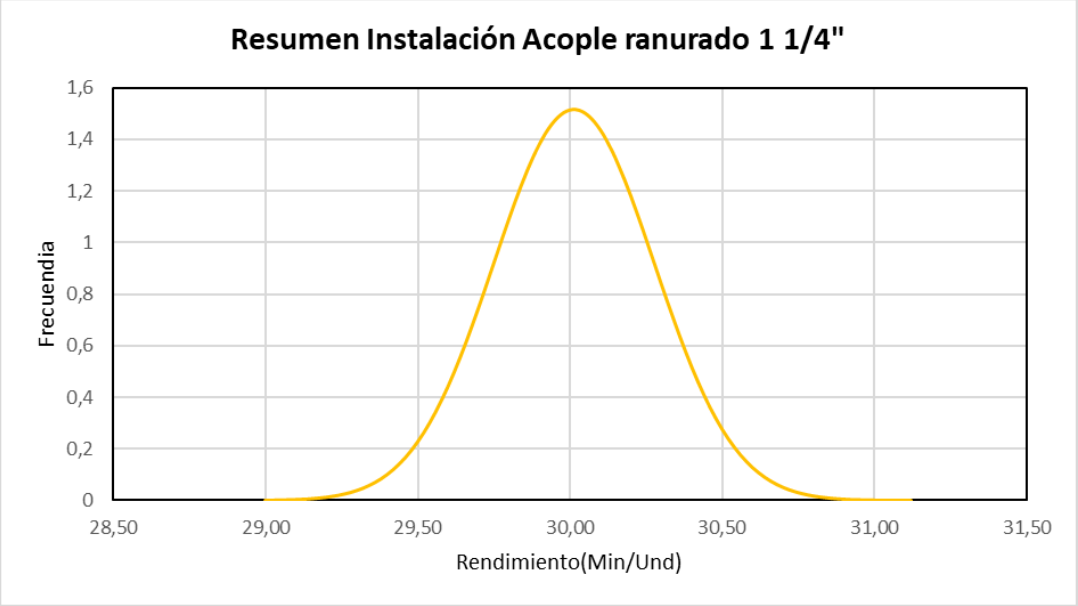
Figura 18 *Distribución normal teórica de instalación de acople ranurado rígido de 1 1/4". Fuente: Autor.*



Tabla 18 *Resumen del análisis estadístico instalación de acople ranurado de 1 1/4. Fuente: Autor.*

Resumen instalación de acople ranurado 1 ¼” **(min/und)**	
Media aritmética	30,01
Desviación estándar	7,91
Coeficiente de variación	0.26

Figura 19 *Distribución normal teórica del resumen de la instalación de acople rígido ranurada 1 ¼”. Fuente: Autor.*



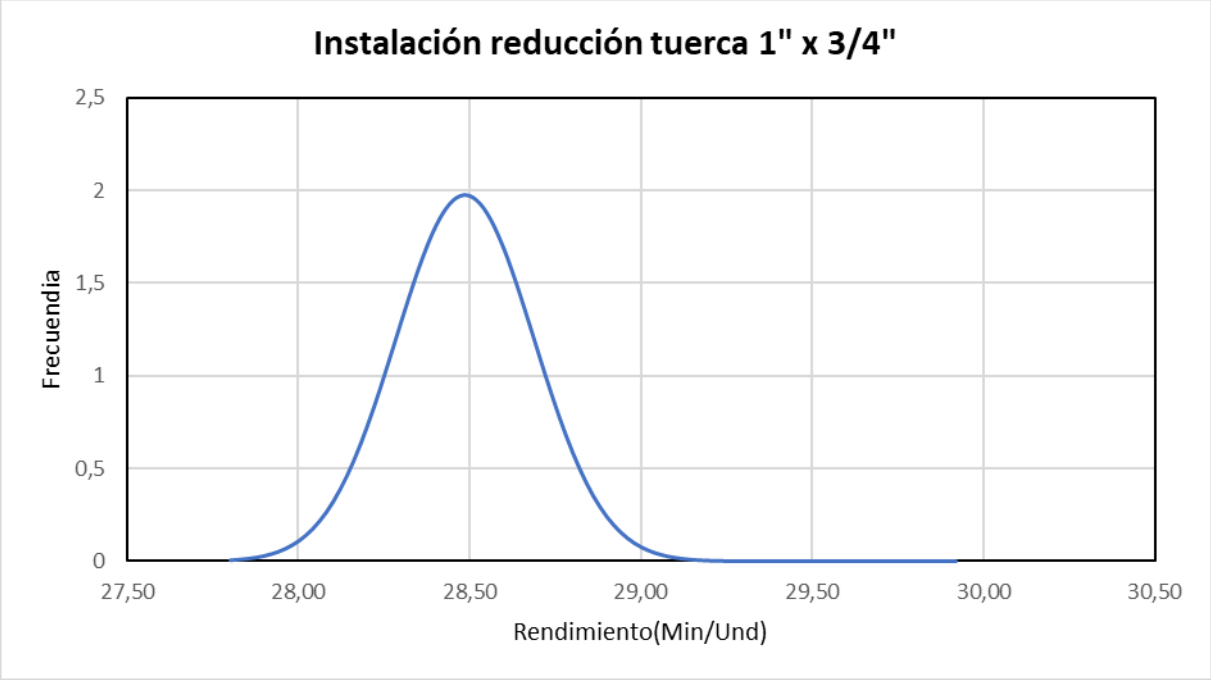
En la instalación de acoples ranurados de 1 ¼”, se destaca que el proceso que requiere más tiempo dentro de esta actividad es la propia instalación del acople. En comparación con los procesos preliminares, la instalación emerge como la fase más demorada, mientras que las etapas iniciales del proceso se caracterizan por su menor duración temporal. El rendimiento resultante al analizar la totalidad de la actividad es de 30.01 minutos por unidad.

En el proceso de instalar una reducción tuerta de 1” x ¾” utilizada en la implementación de los rociadores en la red contra incendios, se registra un rendimiento promedio de 28.48 minutos por unidad, según los datos de la tabla y. Además, el coeficiente de variación sugiere que la estimación promedio tiene una precisión de nivel medio. Se observa también una curtosis de tipo leptocúrtica, ya que es mayor a cero, indicando la presencia de valores atípicos extremos en los datos analizados. No obstante, es importante tener en cuenta que, a pesar de ello, el valor de la curtosis se acerca al cero, lo cual sugiere una distribución de datos cercana a la forma gaussiana o distribución normal.

Tabla 19 *Análisis estadístico instalación de reducción tuerca de 3/4. Fuente: Autor.*

Instalación de reducción tuerca ¾" **(min/und)**	
Media aritmética	28,48
Desviación estándar	5,76
Coeficiente de variación	0.20
Curtosis	0.10
I.V.P Inferior	25,19
I.V.P Superior	31,78

Figura 20 *Distribución normal teórica de la instalación de reducción tuerca 1" x ¾". Fuente: Autor.*



5.3 Comparación rendimientos

El presente estudio tiene como uno de sus principales objetivos la evaluación comparativa de los rendimientos de los procesos constructivos llevados a cabo en obra con respecto a las estimaciones previas realizadas por la empresa para la ejecución del presupuesto y cronograma de

obra del proyecto. Este análisis se amplía al considerar las propuestas y recomendaciones presentes en la literatura especializada.

Tabla 20 *Comparación entre rendimientos estimados en campo y cotización del proyecto. Fuente: Autor.*

Actividades	Unidad	Rendimiento Cot [min/unidad]	Rendimiento Campo[min/und]	Error[%]
Tubería 1 1/4" sch 10	ml	29,08	25,06	16,05%
Acople ranurado rígido 1 1/4"	und	18,12	30,01	39,64%
Reducción tuerca 1" x 3/4"	und	9,64	28,48	66,15%
Tee mecánica renurada 2" x 1 1/4"	und	18,12	93,81	80,69%

Se evidencia una disparidad significativa entre los rendimientos medidos en campo y los estimados para la elaboración del presupuesto del proyecto. A pesar de la limitada precisión en la estimación de la media aritmética en los consumos de mano de obra durante las visitas de obra, la disparidad persiste. Este desajuste emerge como un inconveniente crítico, generando pérdidas sustanciales para la empresa. Los rendimientos teóricos, inicialmente presupuestados, muestran ser notablemente inferiores a los observados durante la ejecución de la obra.

Este fenómeno resalta ciertas deficiencias cometidas durante la fase de cotización del proyecto, las cuales impactan directamente en su construcción y, consecuentemente, afectan las ganancias económicas derivadas del mismo. Al estimar rendimientos de mano de obra inferiores a los efectivamente observados en el terreno, la empresa está facturando montos por debajo de los adecuados, generando un impacto financiero negativo en la organización.

La identificación de estas discrepancias subraya la importancia de estandarizar y mejorar los métodos de estimación, a fin de garantizar una evaluación más precisa y coherente de los valores unitarios de las actividades en la construcción de redes contra incendio al cargo de la empresa, con la finalidad de garantizar la rentabilidad en proyectos venideros.

Finalmente, es crucial considerar las variaciones en los rendimientos en cada proyecto de construcción, dada la singularidad de las características propias que distinguen a cada uno. Se destaca que los cambios significativos experimentados durante la construcción de la red contra incendio han generado notables fluctuaciones en los rendimientos asociados a la instalación de este tipo de elementos, siendo esencial el tener esto en cuenta al momento de comparar los rendimientos implementado en la cotización del presupuesto y los observados en la obra.

7 Conclusiones

Se contrastaron los rendimientos de la mano de obra en campo con respecto a las estimaciones realizadas en la cotización, a partir de un análisis detallado para cada componente de actividad en campo. Este análisis implicó la medición individual de la duración de cada subactividad, que permitió una evaluación precisa de la ejecución real en comparación con las proyecciones iniciales.

En el análisis detallado de la instalación de una tee mecánica ranurada, se destaca que la perforación de la tubería es la etapa que más tiempo demanda. Aunque el proceso de instalar del elemento en sí mismo es comparativamente más breve, se debe tener en cuenta su duración al analizar el consumo de mano de obra de la actividad. Por otro lado, en la instalación de acoples ranurados de 1 ¼", se subraya que la etapa más prolongada en esta actividad es la propia instalación del acople, siendo de menor duración el proceso de lubricación del elemento.

Durante el análisis efectuado, se pone de manifiesto que el rendimiento en la instalación de tubería de acero a carbón se encuentra primordialmente influenciado por el proceso de fabricación del elemento, más que por la propia instalación en sí, esta actividad representar una duración significativamente menor en el proceso. Estos resultados pueden orientar estrategias específicas para mejorar la productividad, al poner énfasis en aspectos cruciales relacionados con la fabricación de la tubería, lo que a su vez contribuirá a optimizar el rendimiento general en la instalación de este tipo de elementos. Por otro lado, durante el estudio, no se percibe ninguna conexión entre el tiempo de montaje de este tipo de tubería y sus dimensiones, recalcando la importancia que tiene la fabricación de este tipo de tubería al analizar su instalación.

Resulta fundamental tener en cuenta las variaciones en los rendimientos de cada proyecto de construcción, considerando las características únicas que los distinguen y las posibles eventualidades para su correcto análisis. Durante la ejecución del proyecto para la construcción de la red contra incendios, se suscitaron cambios significativos que afectaron tanto la duración general del proyecto como los rendimientos de mano de obra en algunas actividades, incrementando la duración de algunas actividades y, por lo tanto, el rendimiento estimado en ellas.

Por último, se observa una marcada discrepancia entre los rendimientos calculados con los datos recolectados en obra y los estimados inicialmente para la elaboración del presupuesto del

proyecto, encontrando errores de hasta el 80% al contrastar dichos rendimientos. Estas diferencias podrían tener un impacto adverso en las ganancias de la empresa, porque las estimaciones de rendimiento resultan significativamente inferiores a los niveles observados en el terreno. Ya que, la subestimación en la duración de las actividades del proyecto influye directamente en la ejecución general del mismo y por lo tanto en el presupuesto inicialmente estimado. Asimismo, el hecho de tener errores tan altos en la estimación de los rendimientos de la mano de obra, subraya la importancia de recopilar información detallada que facilite la planificación efectiva de un proyecto, ayudando a garantizar la eficiencia y el éxito global en la gestión del proyecto.

Sin embargo, al analizar el consumo de mano de obra, siempre es importante tener en cuenta las fluctuaciones en los rendimientos en cada proyecto de construcción que surgen debido a las características únicas que distinguen a cada uno de ellos y como estas variaciones podrían llegar a disminuir o aumentar los errores encontrados al contrastar los rendimientos de la mano de obra.

8 Recomendaciones

Con el objetivo de mejorar la precisión en el análisis de instalación de tubería de acero a carbón para obras que tengas mayores inconvenientes en esta actividad, se propone la implementación de métodos de estimación de rendimientos más precisos en obras que presenten mayores desafíos en esta actividad, al tener variaciones significativas en las longitudes de los tubos instalados para la red contra incendio.

Para lograr este objetivo, se propone realizar el análisis de la instalación de estos elementos de forma individual, en lugar de basarse en la métrica del metro lineal instalado, con el fin de obtener resultados más precisos en el análisis estadístico. Posteriormente, se contempla realizar un cambio de unidades para expresar estos rendimientos en términos de metros lineales, facilitando así su incorporación en el análisis de precio unitario de la actividad.

La adopción de este método podría proporcionar una mayor precisión en la estimación de rendimientos, lo que, a su vez, contribuirá a una toma de decisiones más informada en el ámbito de la instalación de tuberías de acero a carbón. Este enfoque más detallado y preciso puede traducirse en beneficios sustanciales tanto en términos de eficiencia operativa como en la gestión económica de proyectos relacionados con este tipo.

Adicionalmente, se propone la realización de un análisis detallado sobre la productividad del personal involucrado en la construcción de este tipo de redes. El objetivo es examinar cómo el desempeño del personal puede influir en los rendimientos identificados en el presente estudio y, por ende, en futuras construcciones de naturaleza similar. Este enfoque busca comprender mejor las dinámicas laborales y su impacto directo en la eficiencia del proceso constructivo.

Por último, se recomienda la implementación de este análisis en otros proyectos de construcción de redes contra incendio, con el fin de obtener información adicional en este ámbito especifico. Esta medida no solo enriquecería el conocimiento de R.C.I en Colombia, sino que también posibilita la evaluación de los rendimientos identificados en este informe de manera que, permita observar si se presentan cambios significativos en dichos rendimientos con respectos a los presentados en este informe.

Referencias

Arboleda Lopez, S. A. (2014). *Análisis De Productividad, Rendimientos y Consumo De Mano De Obra En Procesos Constructivos, Elemento Fundamental En La Fase De Planeación.* [Tesis de maestría]. Universidad Nacional De Colombia.

Arboleda López, S. A., & Serna Gutiérrez, E. (2007). *Presupuesto y programación de obras civiles* (MSc. J. A. C. S. PhD. S. I. J. G. MSc. Y. E. G. P. MSc. V. D. E. Eduard Emiro Rodríguez Ramírez, Ed.; 2nd ed., Vol. 2). Fondo Editorial ITM.

Botero Botero, L. F. (2002). Análisis De Rendimientos Y Consumos De Mano De Obra En Actividades De Construcción. *Revista Universidad EAFIT*, *128*, 9–21. http://redalyc.uaemex.mx

Brenes Serrano, J. O. (2014). *Análisis de rendimientos y productividad de mano de obra*. Instituto tecnológico de Costa Rica.

Caballero Velasco, M. R., & Vargas Porras, H. E. (2013). *Factores Determinantes En Rendimientos De Mano De Obras De Construcción De Edificaciones En Bucaramanga Y Su Área Metropolitana: Muros Y Acabados* [Trabajos De Grado]. Universidad Pontificia Bolivariana Seccional Bucaramanga.

Cabrera Ramírez, J. D. (2023). *Gestión Del Proyecto De Construcción San Agustín Apartamentos* [Trabajo de grado]. Universidad Santo Tomás.

Garcia Lopera, J. A. (2020). *Análisis de rendimiento de mano de obra en actividades de construcción de estructuras en proyecto colegio palermo* [Informe de grado]. Universidad de Antioquia.

Gavilánez Constante, A. S. (2019). *Desarrollo de un Programa de Elaboración de Presupuestos de Construcción por Análisis de Precios Unitarios* [Trabajo de integración curricular]. Universidad San Francisco de Quito USFQ.

Hernández Cortés, A., & Beltrán Cárdenas, I. P. (2021). *Creación de la app para la agilizar el proceso del análisis de precios unitarios (APU)* [Monografía]. Universidad Distrital Francisco José de Caldas.

Mantilla Gutiérrez, A. C. (2014). *Rendimiento De La Mano De Obra En Proyectos De Saneamiento Básico, Ejecutados Por Administración Directa, En Zonas Rurales De La Encañada – Cajamarca* [Trabajo de grado]. Universidad Nacional De Cajamarca.

Martínez Bencardino, C. (2019). *Estadística y muestreo* (14a. ed.). ECOE Ediciones.

Melo Cuevas, C. A. (2019). *Apoyo Tecnico Y Logistico En El Area Administrativa Y Operativa Para La Adecuación De Contenedores Habitables. Universidad Distrital Francisco Jose De Caldas.* UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSE DE CALDAS.

Muñoz Peralta, L. F., & Calle Castro, C. J. (2021). Revisión sistemática: metodología de análisis de rendimientos de la mano de obra en campo. *Green World Journal*, *4*(1), 4–4. https://doi.org/10.53313/gwj41-004

Navarro, E. (2008). Revisión de la Motivación de los Trabajadores de la Construcción: 1968-2008. *Revista de La Construcción*, *7*(2), 17–29. http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=127612584002

Puentes Leal, C. Y. (2009). *Elaboración de una base de datos de presupuestos y análisis de precios unitarios para los proyectos de infraestructura de la secretaria de planeación del municipio de Piedecuesta.* [Trabajo de grado]. Universidad Pontificia Bolivariana Seccional Bucaramanga.

Rojas Montoya, A. M. (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.* [Trabajo de grado]. Universidad Privada del Norte.

Seijas Macías, J. A. (2020). *Distribución del Producto de Distribuciones Normales* [Tesis doctoral]. Universidad Nacional de Educación a Distancia.

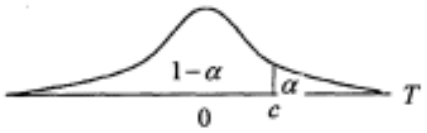
Spiegel, M. R. (1976). *Teoría y problemas de probabilidad y estadística* (1st ed.). McGraw-Hill.

Velandia Castillo, J. A. (2022). *Estudio de rendimientos y consumos de la mano de obra en actividades de cimentación en la construcción de vivienda unifamiliar en el municipio de Tame, departamento de Arauca* [Tesis de maestría]. Universidad Nacional de Colombia.

Anexos

Anexo 01. Tabla de distribución t-Student

La tabla de áreas $1-\alpha$ y valores $c = t_{1-\alpha,r}$ donde, $P[T \le c] = 1-\alpha$, y donde T tiene distribución t – Student con r grados de Libertad



r	1 - α							
	0.750	0.800	0.850	0.900	0.950	0.975	0.990	0.995
1	1.000	1.376	1.963	3.078	6.314	12.706	31.821	63.657
2	0.816	1.061	1.386	1.886	2.920	4.303	6.965	9.925
3	0.765	0.978	1.250	1.638	2.353	3.182	4.541	5.841
4	0.741	0.941	1.190	1.533	2.132	2.776	3.747	4.604
5	0.727	0.920	1.156	1.476	2.015	2.571	3.365	4.032
6	0.718	0.906	1.134	1.440	1.943	2.447	3.143	3.707
7	0.711	0.896	1.119	1.415	1.895	2.365	2.998	3.499
8	0.706	0.889	1.108	1.397	1.860	2.306	2.896	3.355
9	0.703	0.883	1.100	1.383	1.833	2.262	2.821	3.250
10	0.700	0.879	1.093	1.372	1.812	2.228	2.764	3.169
11	0.697	0.876	1.088	1.363	1.796	2.201	2.718	3.106
12	0.695	0.873	1.083	1.356	1.782	2.179	2.681	3.055
13	0.694	0.870	1.079	1.350	1.771	2.160	2.650	3.012
14	0.692	0.868	1.076	1.345	1.761	2.145	2.624	2.977
15	0.691	0.866	1.074	1.341	1.753	2.131	2.602	2.947
16	0.690	0.865	1.071	1.337	1.746	2.120	2.583	2.921
17	0.689	0.863	1.069	1.333	1.740	2.110	2.567	2.898
18	0.688	0.862	1.067	1.330	1.734	2.101	2.552	2.878
19	0.688	0.861	1.066	1.328	1.729	2.093	2.539	2.861
20	0.687	0.860	1.064	1.325	1.725	2.086	2.528	2.845
21	0.686	0.859	1.063	1.323	1.721	2.080	2.518	2.831
22	0.686	0.858	1.061	1.321	1.717	2.074	2.508	2.819
23	0.685	0.858	1.060	1.319	1.714	2.069	2.500	2.807
24	0.685	0.857	1.059	1.318	1.711	2.064	2.492	2.797
25	0.684	0.856	1.058	1.316	1.708	2.060	2.485	2.787
26	0.684	0.856	1.058	1.315	1.706	2.056	2.479	2.779
27	0.684	0.855	1.057	1.314	1.703	2.052	2.473	2.771
28	0.683	0.855	1.056	1.313	1.701	2.048	2.467	2.763
29	0.683	0.854	1.055	1.311	1.699	2.045	2.462	2.756
30	0.863	0.854	1.055	1.310	1.697	2.042	2.457	2.750
40	0.681	0.851	1.050	1.303	1.684	2.021	2.423	2.704
60	0.679	0.848	1.046	1.296	1.671	2.000	2.390	2.660
120	0.677	0.845	1.041	1.289	1.658	1.980	2.358	2.617
∞	0.674	0.842	1.036	1.282	1.645	1.960	2.326	2.576