



**UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**

**TEMA:**

**Modelo de estimación de tiempos y rendimientos con factores de  
incertidumbre basado en PERT para obras civiles: Caso aplicado a actividades de  
movimiento de tierras y fundaciones.**

**AUTORES:**

**Jiménez Mendoza, Blanca Noemí  
Jiménez Báez, Javier Isaías**

**Trabajo de titulación previo a la obtención del título de**

**INGENIERO CIVIL**

**TUTOR:**

**Ing. Vera Armijos, Jorge Xavier, M.Sc.**

**Guayaquil, Ecuador.**

**8 de septiembre, 2025**



UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**CARRERA INGENIERÍA CIVIL**

**CERTIFICACIÓN**

Certificamos que el presente trabajo de titulación, fue realizado en su totalidad por **Jiménez Báez, Javier Isaías** y **Jiménez Mendoza, Blanca Noemí**, como requerimiento para la obtención del título de **Ingeniero Civil**.

**TUTOR**

f. **Ing. Jorge Xavier Vera M.Sc.**

**DIRECTORA DE LA CARRERA**

f.

**Ing. Stefany Alcívar Bastidas, Ph. D.**

**Guayaquil, a los 8 días del mes de septiembre del año 2025**



UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**CARRERA INGENIERÍA CIVIL**

**DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD**

Nosotros, **Jiménez Báez, Javier Isaías** y **Jiménez Mendoza, Blanca Noemí**

**DECLARAMOS QUE:**

El Trabajo de Titulación, **Modelo de estimación de tiempos y rendimientos con factores de incertidumbre basado en PERT para obras civiles: Caso aplicado a actividades de movimiento de tierras y fundaciones**, previo a la obtención del título de **Ingeniero Civil**, ha sido desarrollado respetando derechos intelectuales de terceros conforme las citas que constan en el documento, cuyas fuentes se incorporan en las referencias o bibliografías. Consecuentemente este trabajo es de mi total autoría.

En virtud de esta declaración, me responsabilizo del contenido, veracidad y alcance del Trabajo de Titulación referido.

**Guayaquil, a los 8 días del mes de septiembre del año 2025**

**EL AUTOR**

f. 

**Jiménez Báez Javier**  
**Isaías**

**LA AUTORA**

f. 

**Jiménez Mendoza Blanca**  
**Noemí**



UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**CARRERA INGENIERÍA CIVIL**

**AUTORIZACIÓN**

Nosotros, **Jiménez Báez, Javier Isaías y Jiménez Mendoza, Blanca Noemí**

Autorizo a la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil a la **publicación** en la biblioteca de la institución del Trabajo de Titulación, **Modelo de estimación de tiempos y rendimientos con factores de incertidumbre basado en PERT para obras civiles: Caso aplicado a actividades de movimiento de tierras y fundaciones**, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi exclusiva responsabilidad y total autoría.

**Guayaquil, a los 8 días del mes de septiembre del año 2025**

**EL AUTOR**

**LA AUTORA**

f. 

**Jiménez Báez Javier**  
**Isaías**

f. 

**Jiménez Mendoza Blanca**  
**Noemí**



UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

FACULTAD DE INGENIERÍA  
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

## REPORTE DE COMPILATIO



CERTIFICADO DE ANÁLISIS  
magister

TT Blanca Jimenez y Javier Jiménez.  
29-08-25

3%  
Textos  
sospechosos

< 1% Similitudes  
0% similitudes entre comillas  
0% entre las fuentes  
mencionadas  
2% Idiomas no reconocidos  
2% Textos potencialmente  
generados por la IA

Nombre del documento: TT Blanca Jimenez y Javier Jiménez, 29-08-25.docx  
ID del documento: 8feaf83f83c896c47ab42cba6a8d4381eae32432  
Tamaño del documento original: 668,03 kB

Depositante: Clara Catalina Gas Cevallos  
Fecha de depósito: 1/9/2025  
Tipo de carga: interface  
fecha de fin de análisis: 1/9/2025

Número de palabras: 11.760  
Número de caracteres: 78.178

Ubicación de las similitudes en el documento:



### Fuentes con similitudes fortuitas

| Nº | Descripciones                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | Similitudes | Ubicaciones | Datos adicionales                      |
|----|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|-------------|----------------------------------------|
| 1  | <a href="https://spazio.com.ar/">spazio.com.ar</a>   Qué son los métodos PERT y CPM y cómo se utilizan en la gestión...<br><a href="https://spazio.com.ar/que-son-los-metodos-pert-y-cpm-y-como-se-utilizan-en-la-gestion-de-p...">https://spazio.com.ar/que-son-los-metodos-pert-y-cpm-y-como-se-utilizan-en-la-gestion-de-p...</a>                                                      | < 1%        |             | Palabras idénticas: < 1% (11 palabras) |
| 2  | <a href="http://localhost:8080/xmlui/bitstream/redug/17847/3/YUN-ON-TRABAJO_TITULACIÓN_GENER...">localhost</a>   Análisis Técnico Del Proceso Constructivo De Cimentación Del Edificio ...<br><a href="http://localhost:8080/xmlui/bitstream/redug/17847/3/YUN-ON-TRABAJO_TITULACIÓN_GENER...">http://localhost:8080/xmlui/bitstream/redug/17847/3/YUN-ON-TRABAJO_TITULACIÓN_GENER...</a> | < 1%        |             | Palabras idénticas: < 1% (12 palabras) |

**Fuentes mencionadas (sin similitudes detectadas)** Estas fuentes han sido citadas en el documento sin encontrar similitudes.

- <https://polodelconocimiento.com/ojs/index.php/es/article/view/4541/html>
- <https://doi.org/10.1000/rice.2022.91>
- [https://www.researchgate.net/publication/225174998\\_Conceptual\\_framework\\_of\\_construction\\_productivity\\_estimation](https://www.researchgate.net/publication/225174998_Conceptual_framework_of_construction_productivity_estimation)
- <https://doi.org/10.36941/ajis-2024-0013>
- <https://doi.org/10.1000/rice.2024.121>

TUTOR

f.

Ing. Vera Armijos, Jorge Xavier, M.Sc.

## **AGRADECIMIENTO**

En primer lugar, estamos muy agradecidos con Dios por regalarnos con la fuerza, el valor y la buena salud para sacar este escenario de vida crucial del parque. Expresamos nuestro más profundo agradecimiento a nuestras familias, que con su amor, paciencia incondicional y apoyo constante nos motivaron a avanzar en los momentos más difíciles, su confianza y sacrificios han sido el motor fundamental en nuestro camino académico y personal.

También queremos extender nuestro reconocimiento a nuestros asesores de tesis por su orientación y contribución de dedicación que nos permitieron enriquecer este trabajo y ampliar nuestra capacitación como futuros ingenieros civiles.

Estamos muy agradecidos con nuestros maestros de carrera que han estado compartiendo su sabiduría, lecciones de vida y principios con nosotros a lo largo de los años, realmente ayudándonos a crecer en nuestras carreras.

A nuestros compañeros con quienes compartimos muchos esfuerzos para conseguir el aprendizaje colectivo y progreso. Gracias por el apoyo, el espíritu del equipo y los buenos momentos que hicieron que todo esto sea más fácil de manejar.

Un agradecimiento de corazón a todos que contribuyeron de una u otra manera para lograr el objetivo. Esta victoria no es solo la nuestra, es una victoria compartida con todos los que han recorrido este camino con nosotros.

## **DEDICATORIA**

Gracias a nuestros padres, por su amor incondicional, por enseñarnos con su ejemplo el valor del esfuerzo y la perseverancia, y ser el motor que nos impulsó a alcanzar esta meta. Agradezco a nuestras familias, por su comprensión, solidaridad y perseverancia en los momentos más duros de este camino. A los profesores y mentores, que con su orientación y conocimientos nos inculcaron la vocación por la ingeniería civil y nos impulsaron a superarnos académica y personalmente. Finalmente, a cada compañero de clase y amigo que compartió este trayecto, ya que juntos demostramos que los logros son más satisfactorios cuando se comparten.



UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

**FACULTAD DE INGENIERIA**  
**CARRERA INGENIERIA CIVIL**

**TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN**

f. 

**Ing. Jorge Xavier Vera M.Sc.**

f. 

**Federico von Buchwald de Janon Ph.D.**  
**DECANO DE CARRERA**

f. 

**Ing. Mélida Alexandra Camacho Monar Ph.D.**  
**DELEGADO DEL ÁREA**

f. 

**Ing. Nancy Varela Terreros Ph.D.**  
**OPONENTE**

## ÍNDICE GENERAL

|                                                                 |     |
|-----------------------------------------------------------------|-----|
| CERTIFICACIÓN.....                                              | 2   |
| DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD .....                            | 3   |
| AUTORIZACIÓN .....                                              | 4   |
| REPORTE COMPILATIO.....                                         | 5   |
| AGRADECIMIENTO .....                                            | VI  |
| DEDICATORIA.....                                                | VII |
| RESUMEN.....                                                    | XV  |
| ABSTRACT .....                                                  | 1   |
| CAPÍTULO I.....                                                 | 2   |
| Introducción.....                                               | 2   |
| 1.1 Planteamiento del problema .....                            | 2   |
| 1.2 Justificación .....                                         | 3   |
| 1.3 Objetivos .....                                             | 4   |
| 1.4 Alcances y limitaciones .....                               | 5   |
| 1.5 Estructura del documento .....                              | 6   |
| CAPÍTULO II.....                                                | 8   |
| Marco teórico .....                                             | 8   |
| 2.1 Estimación de tiempos y rendimientos en obras civiles ..... | 8   |
| 2.2 Técnica PERT.....                                           | 8   |

|                                                                         |    |
|-------------------------------------------------------------------------|----|
| 2.3 Aplicaciones previas de PERT en construcción.....                   | 9  |
| 2.4 Relevancia de la productividad en obras civiles en Ecuador.....     | 10 |
| 2.5 Metodologías de medición de productividad en construcción .....     | 11 |
| 2.6 Aplicación de PERT y CPM en proyectos de construcción.....          | 11 |
| 2.7 Estudios previos en Ecuador con análisis PERT en obras civiles..... | 13 |
| CAPÍTULO III .....                                                      | 15 |
| Metodología.....                                                        | 15 |
| 3.1 Tipo y enfoque de investigación.....                                | 15 |
| 3.2 Información de las obras analizadas.....                            | 15 |
| 3.3 Diseño metodológico por fases .....                                 | 16 |
| 3.4 Obras seleccionadas para el estudio .....                           | 19 |
| 3.5 Recolección de datos.....                                           | 21 |
| 3.6 Relación de rendimientos y presupuesto .....                        | 27 |
| CAPÍTULO IV .....                                                       | 28 |
| Resultados.....                                                         | 28 |
| 4.1 Análisis comparativo de rendimientos.....                           | 28 |
| 4.2 Aplicación de PERT a los datos recopilados .....                    | 30 |
| 4.3 Análisis de percepciones de profesionales entrevistados.....        | 32 |
| 4.4 Comparación global de las tres obras. ....                          | 36 |

|                                                                                                                  |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 4.5 Análisis del rubro: Desbroce (5cm) del proyecto "La Danesa" .....                                            | 41 |
| 4.6 Análisis del rubro: Desbroce y limpieza del proyecto "Zede" .....                                            | 44 |
| 4.7 Análisis del rubro: Desbroce y limpieza del área del proyecto "Sala de<br>F ventas Jardines del Buijo" ..... | 45 |
| CAPÍTULO V .....                                                                                                 | 48 |
| Discusión .....                                                                                                  | 48 |
| 3.3 Interpretación de los resultados. ....                                                                       | 48 |
| 5.2 Identificación de causas de diferencias entre PERT y rendimientos<br>F reales. ....                          | 50 |
| 5.3 Recomendaciones para mejorar la estimación.....                                                              | 52 |
| CAPÍTULO VI .....                                                                                                | 54 |
| Conclusiones y recomendaciones .....                                                                             | 54 |
| 6.1 Conclusiones alineadas a los objetivos.....                                                                  | 54 |
| 6.2 Limitaciones del estudio.....                                                                                | 55 |
| 6.3 Recomendaciones para aplicación del modelo en otras obras.....                                               | 56 |
| REFERENCIAS .....                                                                                                | 58 |

## ÍNDICE DE TABLAS

|                                                                                                                                                                |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Tabla 1.</b> <i>Costos unitarios, cantidades y rendimientos de las actividades principales de la obra "La Danesa"</i> .....                                 | 23 |
| <b>Tabla 2.</b> <i>Costos unitarios, cantidades y rendimientos de las actividades principales de la obra "Zede".</i> .....                                     | 24 |
| <b>Tabla 3.</b> <i>Costos unitarios, cantidades y rendimientos de las actividades principales de la obra "Sala de ventas jardines del Buijo"</i> .....         | 25 |
| <b>Tabla 4.</b> <i>Comparación de rendimientos en desbroce y limpieza.</i> .....                                                                               | 28 |
| <b>Tabla 5.</b> <i>Comparación de rendimientos en excavación y desalojo.</i> .....                                                                             | 29 |
| <b>Tabla 6.</b> <i>Comparación de rendimientos en relleno y compactación / reconfiguración.</i> .....                                                          | 29 |
| <b>Tabla 7.</b> <i>Comparación global de rendimientos, varianzas y rendimientos reales de las actividades semejantes en las tres obras seleccionadas</i> ..... | 37 |

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

|                                                                                                                                                  |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Ilustración 1. Diagrama de flujo metodológico del modelo PERT .....                                                                              | 18 |
| Ilustración 2. Comparación de rendimientos reales vs. rendimiento esperado F<br>(PERT) en la actividad "Excavación y desalojo". .....            | 39 |
| Ilustración 3. Comparación de rendimientos reales vs. rendimiento esperado F<br>(PERT) en la actividad "Desbroce / limpieza". .....              | 40 |
| Ilustración 4. Comparación de rendimientos reales vs. rendimiento esperado J M<br>(PERT) en la actividad "Compactación / re conformación". ..... | 41 |
| Ilustración 5. Rubro de desbroce del proyecto "La Danesa". .....                                                                                 | 43 |
| Ilustración 6. Rubro de desbroce y limpieza del proyecto "Zede". .....                                                                           | 45 |
| Ilustración 7. Rubro de desbroce y limpieza del proyecto "Sala de ventas Jardines F<br>del Buijo". .....                                         | 47 |
| Ilustración 8. Esquema de factores que influyen en los rendimientos. ....                                                                        | 51 |

## RESUMEN

El presente trabajo desarrolla un modelo de estimación de rendimientos considerando factores de incertidumbre en el ámbito de los movimientos de tierras en obras civiles de Guayaquil. Este modelo utiliza la técnica PERT en la cual se calculan los rendimientos de tareas en base a tres evaluaciones: optimista, más probable y pesimista. Su validación involucró el análisis de tres proyectos reales, contrastando los rendimientos históricos con los calculados aplicando PERT. La técnica resulta eficaz en la estimación de actividades que se pueden estandarizar como en el caso del desbroce y limpieza, a pesar de que para la mayor parte de los procesos con más variabilidad como la excavación, desalojo y compactación, los resultados fueron inadecuados debido a condiciones climáticas, técnicas y de gestión.

Se enfocó en la operabilidad como el elemento más clave, que en este caso se define como la capacidad real para ejecutar las actividades en condiciones particulares de obra, incluyendo el clima, la disponibilidad de equipos, la logística y la gestión de los imprevistos. Por lo tanto, se obtiene como resultado que la técnica PERT permite optimizar la planificación y la presenta de manera más ajustada a la realidad en lo que se refiere a los cronogramas, siempre que se manejen datos de campo confiables y la operabilidad se considere como el eje central del estudio. La investigación ofrece en estos casos un diseño metodológico que puede ser utilizado en obras de construcción y sugiere medidas que se centran en mejorar su uso en trabajos de ingeniería civil.

**PALABRAS CLAVE:** PERT, planificación de proyectos, rendimiento de obra, incertidumbre, movimiento de tierras, fundaciones, operatividad.

## **ABSTRACT**

This paper develops a model for estimating yields considering factors of uncertainty in the field of earthworks in civil engineering projects in Guayaquil. This model uses the PERT technique, in which task yields are calculated based on three assessments: optimistic, most likely, and pessimistic. Its validation involved the analysis of three real projects, comparing historical yields with those calculated using PERT. The technique is effective in estimating activities that can be standardized, such as clearing and cleaning, although for most processes with greater variability, such as excavation, removal, and compaction, the results were inadequate due to climatic, technical, and management conditions.

In this case, they focused on operability as the most key element, which in this case is defined as the actual ability to execute activities under particular site conditions, including weather, equipment availability, logistics, and contingency management.

Therefore, the result is that the PERT technique allows for optimized planning and presents it in a way that is more realistic in terms of schedules, provided that reliable field data is used and operability is considered the central focus of the study. In these cases, the research offers a methodological design that can be used in construction projects and suggests measures that focus on improving its use in civil engineering work.

**KEY WORDS:** PERT technique, yield estimation, earthworks, operability, uncertainty factors, construction projects and planning optimization.

# CAPÍTULO I

## **Introducción**

### ***1.1 Planteamiento del problema***

La estimación precisa de los costos y tiempos de una actividad constructiva plantea uno de los mayores retos en la programación de proyectos de ingeniería civil. Este problema cobra mayor apremio en las fases iniciales, tales como la excavación y la cimentación, donde las variables técnicas, climáticas y de operación presentan un alto grado de incertidumbre. En muchas ocasiones, las diferencias entre los plazos fijados y los plazos reales en los que se ejecuta el trabajo, ocasionan que se presenten retrasos en los procesos, costos adicionales e, incluso, en ocasiones, incumplimiento de contrato (NIST, 2007).

Aunque hay varias técnicas de programación de obras, como el método del camino crítico (CPM), generalmente adoptan duraciones determinísticas. Por el contrario, la técnica PERT (Program Evaluation and review Technique) posibilita la inclusión de la variabilidad e incertidumbre en la estimación de rendimientos, mediante tres escenarios posibles: optimista, más probable y pesimista (Project Management Academy, n.d.). No obstante, su aplicación en el contexto local, especialmente en proyectos de infraestructura en ciudades como Guayaquil, ha sido limitada y escasamente documentada (Morales-Molina et al., 2024).

Este estudio sugiere la creación de un modelo que utilice PERT como base metodológica para la estimación de los tiempos y desempeño de las actividades de

movimiento de tierras y fundaciones, considerando la variabilidad concreta registrada en obras ejecutadas. Se busca brindar una planificación más objetiva, flexible y técnica para los proyectos civiles (Procore, n.d.-a).

### ***1.2 Justificación***

El modelo propuesto aborda la necesidad de mejorar la precisión en la programación de actividades críticas en la etapa inicial de una obra civil. La limpieza del terreno, la excavación, la compactación, así como la fundición de los componentes estructurales, son procesos que garantizan la continuidad de la obra y su correcto desarrollo en etapas posteriores.

Una subestimación de los rendimientos en estas actividades puede resultar en el acumulo de demoras por vacío, y en problemas de naturaleza técnica que obstaculizan el avance de la obra. Contar con una herramienta que desde el inicio de la obra considere la incertidumbre es una mejora significativa para la planificación. La validación que se hizo con datos de obras en Guayaquil demuestra que el modelo no solo es útil en este contexto, sino que también es útil en otros proyectos urbanos.

### **1.3 Objetivos**

#### ***Objetivo general***

Elaborar un modelo de estimación de rendimientos a través de la técnica PERT, incluyendo factores de incertidumbre, aplicado a las actividades de movimiento de tierras y fundaciones en obras civiles.

#### ***Objetivos específicos***

1. Reconocer las actividades más destacadas de movimiento de tierras y fundaciones en el proceso constructivo de obras civiles.
2. Recoger y organizar información histórica sobre rendimientos de ejecución en estas actividades, basándose en obras reales construidas en la ciudad de Guayaquil.
3. Determinar los valores de rendimiento: optimista, más probable y pesimista, considerando la variabilidad técnica y operativa.
4. Emplear la metodología PERT para calcular el rendimiento esperado de las actividades escogidas y determinar sus respectivas varianzas y desviaciones estándar.
5. Comparar los resultados adquiridos con los APU, para corroborar la exactitud del modelo propuesto y su beneficio para futuros proyectos.

#### ***1.4 Alcances y limitaciones***

El presente estudio se centra en el desarrollo de un modelo de estimación de rendimientos utilizando la técnica PERT, incorporando factores de incertidumbre propios de la construcción. El alcance del trabajo se delimita a la validación del modelo en tres obras civiles reales ejecutadas en la ciudad de Guayaquil, seleccionadas por contar con información suficiente y confiable respecto a análisis de precios unitarios.

Las actividades consideradas son las fases iniciales de ejecución, es decir, el movimiento de tierras y los cimientos. Dichas fases implican tareas como el desbroce y la limpieza, la excavación, el relleno, la compactación y la fundición de los elementos básicos que conforman la estructura fundamental. Estas actividades se eligieron por su papel decisivo en la evolución posterior de la obra, sin olvidar la variabilidad que ofrecen debido a determinadas condiciones tecnológicas, climáticas y de trabajo.

En cuanto a las limitaciones, el estudio se limita a proyectos de tipología similar en el entorno urbano de Guayaquil y, por lo tanto, los resultados no pueden extrapolarse directamente a nuevos entornos geográficos y obras de otro tipo (como proyectos viarios o hidráulicos a gran escala). Asimismo, los valores de rendimiento optimistas, los más probables y pesimistas ( $R_o$ ,  $R_m$  y  $R_p$ ) requieren la disponibilidad y calidad de los registros históricos de las obras analizadas, así como la experiencia de los profesionales consultados.

### **1.5 Estructura del documento**

El presente trabajo de titulación está organizado en seis capítulos, además de los apartados preliminares y con la siguiente estructura:

**Capítulo I. Introducción:** En este capítulo se presentan; el planteamiento del problema, justificación, objetivos, alcances y limitaciones además de una descripción concisa de la organización de los contenidos

**Capítulo II. Marco teórico:** En este acápite se presentan los referentes teóricos y conceptuales relacionados con la estimación de tiempos y rendimientos en obras civiles, se describe la técnica PERT y su aplicación en los procesos constructivos. También se revisan estudios previos, sobre diferentes metodologías de productividad, así como su aplicabilidad en los procesos constructivos ecuatorianos.

**Capítulo III. Metodología:** Se describen los procedimientos utilizados para el desarrollo y validación del modelo de estimación de rendimiento basado en PERT utilizando factores de incertidumbre. Asimismo, se expone el tipo y enfoque de la investigación, como también la información obtenida de los tres proyectos desarrollados en la ciudad de Guayaquil.

A continuación, se exponen las características principales de cada proyecto, con detalle de los movimientos de tierra y cimentaciones iniciales, así como de sus unidades de medida, cantidades ejecutadas, precios unitarios, rendimientos y recursos utilizados. Seguidamente, el diseño metodológico por fases, que incluye la recopilación y sistematización de datos, el cálculo de tiempos esperados, varianzas, desviaciones

estándar mediante PERT, y la validación del modelo comparándolo con los rendimientos reales registrados en obra.

**Capítulo IV. Resultados:** Se presentan los cálculos obtenidos al aplicar el modelo PERT a los tres proyectos seleccionados. Se muestran tablas comparativas, valores de rendimiento esperados, varianzas y desviaciones estándar, así como gráficos comparativos entre el rendimiento estimado y el rendimiento real en el campo.

**Capítulo V. Discusión:** En la discusión se destacan las diferencias encontradas entre los valores calculados y los reales, así como los factores que explican dichas variaciones, los resultados fueron contrastados con estudios previos y con la teoría analizada.

**Capítulo VI. Conclusiones y recomendaciones:** En este capítulo, se presentan las principales conclusiones del estudio, que responden a los objetivos establecidos. Por otra parte, se proponen recomendaciones orientadas a la aplicación práctica del modelo en proyectos constructivos y su eventual generalización a otros ámbitos.

## CAPÍTULO II

### Marco teórico

#### *2.1 Estimación de tiempos y rendimientos en obras civiles*

Estimar el tiempo y el rendimiento es una práctica fundamental para la programación, la presupuestación y el control de proyectos. Por rendimiento se entiende la cantidad de trabajo que un equipo, una cuadrilla o una máquina pueden realizar en una unidad de tiempo (Hee-Sung, 2004). Para calcularlo se parte de observaciones empleadas empíricamente o de bases de datos históricas, tales como análisis de precios unitarios o informes de registros de trabajo (NIST, 2007).

En el caso de las actividades de movimiento de tierras y fundaciones, el rendimiento puede estar influenciado por diversos factores:

- Condiciones del suelo: tipo de material, humedad, compactación previa.
- Capacidad y estado de la maquinaria.
- Experiencia y eficiencia de la mano de obra.
- Condiciones climáticas y accesibilidad al sitio. (Morales-Molina et al., 2024).

#### *2.2 Técnica PERT*

La técnica de evaluación y revisión de programas (PERT) fue desarrollada en la década de 1950 para la programación de proyectos complejos y con incertidumbre. Su principal ventaja radica en que permite incorporar esta incertidumbre mediante tres estimaciones:

- Rendimiento optimista ( $R_o$ ): Rendimiento mínimo bajo condiciones ideales.
- Rendimiento más probable ( $R_m$ ): Rendimiento que se espera bajo condiciones normales.

- Rendimiento pesimista (Rp): Rendimiento máximo posible en condiciones desfavorables.

El rendimiento esperado se calcula con la siguiente fórmula:

$$Re = (Ro + 4Rm + Rp) / 6$$

Asimismo, se puede calcular la varianza ( $\sigma^2$ ) como:

$$\sigma^2 = [(Rp - Ro) / 6]^2$$

Este enfoque es especialmente útil cuando se trabaja con datos inciertos o sujetos a cambios frecuentes en obra. La técnica ha demostrado utilidad práctica en la industria de la construcción, especialmente cuando se complementa con herramientas de control como el análisis de riesgos (Project Management Academy, n.d.).

### ***2.3 Aplicaciones previas de PERT en construcción***

Diversos trabajos recientes avalan la utilidad del método PERT para la planificación de proyectos de construcción, en particular para aquellas actividades que exhiben alta variabilidad en sus tiempos a raíz de causas externas como las ausencias por las condiciones climáticas, la disponibilidad de materiales y limitaciones logísticas. La adopción de dicho método ha demostrado reducir las desviaciones de los cronogramas, siempre que haya suficiente información para poder estimar los tres escenarios temporales: el optimista, el más probable y el pesimista (OnIndus, 2023).

En el contexto latinoamericano, todavía es habitual encontrar que los cronogramas se elaboran en la expectativa de duraciones determinadas, lo que complica la administración de imprevistos durante la ejecución. La adopción de PERT permitió a

países como el Ecuador la posibilidad de adoptar una metodología flexible que añada la incertidumbre a la planificación como parte del proceso de gestión.

#### ***2.4 Relevancia de la productividad en obras civiles en Ecuador***

La productividad en la construcción puede considerarse un factor determinante para la generación del desarrollo de la economía, especialmente para los países en vías de desarrollo donde su capacidad de producción juega un papel clave en la capacidad de la mano de obra y la inversión. En uno de los estudios realizado por Camino-Mogro et al. (2021) en la productividad total de los factores (PTF) en el Ecuador en el periodo de estudio 2007-2018 concluyeron que, en efecto, el tamaño de las empresas aporta un componente positivo a la alta productividad, mientras que la edad de la construcción y su capacidad de dirigir una empresa familiar puede tener resultados mixtos, firma que, además, para un crecimiento de la productividad, se debe tener un acceso a crédito (Segundo Camino-Mogro et al., 2021).

En Ecuador, Gallegos & Castillo (2022) estudiaron la interrelación entre la eficiencia, la carga de trabajo y la salud ocupacional de las empresas de construcción de las ciudades de Quito, Cuenca y Guayaquil. Los resultados de este estudio muestran que muchas empresas están más centradas en la eficiencia y rentabilidad hasta tal punto de desatender la seguridad y las condiciones de trabajo, lo que les puede afectar indirectamente -sin que ellas sean conscientes de ello- los rendimientos o costes de sus proyectos (Gallegos & Castillo, 2022).

## ***2.5 Metodologías de medición de productividad en construcción***

Se han desarrollado multitud de metodologías de medida de productividad en construcción, así por ejemplo en la Universidad San Francisco de Quito (2021), Saud Medina desarrolla una tesis en torno a las metodologías aplicables en Ecuador, destacando la importancia de medir el rendimiento de los recursos sobre tareas concretas como el movimiento de tierras, a través del uso de indicadores comparativos, de los datos históricos y de análisis de bitácoras (Saud Medina, 2021).

Por otro lado, un caso de estudio de retrasos en los proyectos de construcción, concretamente el caso de la biblioteca de la Universidad del Azuay, enfatiza que la no planificación provoca un impacto directo en cuestiones como los costes, la duración y en algunos casos en las disputas contractuales. Afirma que, si se aplican adecuadamente las técnicas PERT y CPM, éstas pueden minimizar el impacto de los retrasos en los proyectos de construcción (Rodríguez & Castro, 2021).

## ***2.6 Aplicación de PERT y CPM en proyectos de construcción***

Desde su aparición en el contexto de la década de 1950, las metodologías PERT (Program Evaluation and Review Technique) y CPM (Critical Path Method) han ido regladas como instrumentos esenciales en la administración de proyectos, extendiéndose en el sector de la construcción. Ambas metodologías presentan diferencias respecto del enfoque a la incertidumbre; el CPM basa su enfoque en duraciones deterministas, por un lado, y el PERT incluye estimaciones probabilísticas que incorporan varios escenarios de ejecución por el otro (Rodríguez & Castro, 2021).

A nivel nacional, distintas investigaciones han combinado estas metodologías con enfoques actuales de monitoreo y control de proyectos. Un ejemplo destacado es el trabajo aplicado desarrollado por la Universidad Estatal Península de Santa Elena (2018) que utilizó la metodología CPM introduciendo el EVM en el ámbito de los proyectos de vivienda, incluyendo el fortalecimiento de las decisiones a través de la combinación de métricas probabilísticas y deterministas. De la misma manera, las investigaciones que se centran en las técnicas de optimización de cronogramas como son el “crashing y fast-tracking” (Determinación de técnicas, 2021), exponen que PERT puede ser utilizada como una herramienta complementaria para las estrategias correctivas para reducir los efectos de los retrasos en la ejecución.

En el plano internacional, trabajos como el de Lozano (2015) con análisis estocásticos utilizando simulaciones de Monte Carlo, así como los modelos computacionales de Arias (2020) para el caso de excavación, perfilan el marco metodológico incluyendo la simulación a nivel digital. Estas técnicas mejoran la capacidad para modelar escenarios y riesgos complejos, sosteniendo el uso de PERT en contextos altamente porosos. Tales experiencias pueden ayudar a los procesos de ejecución de obras civiles en Ecuador, sobre todo, aquellas actividades más sensibles a la variabilidad como la excavación y la ejecución de los cimientos.

## ***2.7 Estudios previos en Ecuador con análisis PERT en obras civiles.***

En función del marco teórico expuesto, en esta sección se abordan algunos artículos de investigación realizados en Ecuador que, pese a ser muy escasos, intentaron utilizar el PERT en proyectos de infraestructura en la primera mitad del siglo XXI.

En lo que respecta a Ecuador nos encontramos frente a apenas algunas investigaciones sobre la técnica PERT aplicada a que se relacionen con obras civiles. La mayoría son escasas y de carácter teórico. El uso predominante del Gantt o el CPM, es el uso de las metodologías deterministas, muy convencionales, que no manejan adecuadamente la variabilidad de los tiempos de ejecución de obra.

Un avance muy importante a este enfoque lo constituye el trabajo realizado por Rodríguez y Castro (2021) en la Universidad del Azuay, que realizó un estudio acerca de los retrasos en la construcción de la biblioteca universitaria. Los autores manifestaron que el uso de las herramientas probabilísticas como PERT contribuye a mejorar el control de la variación en la planificación de plazos y costos, aunque esta afirmación solamente se quedó dentro de un marco teórico sin extrapolarlo a la práctica.

Complementario a esto, Saud Medina (2021) en la Universidad de San Francisco de Quito realizó un extenso proyecto de investigación sobre las metodologías de medida de productividad en construcción. Pese a que no utilizó la técnica PERT, sí enfatizó en que había que mejorar, y que no era suficiente utilizar herramientas del tipo PERT, sino que se debía ejercitar en herramientas probabilísticas robustas para programar las actividades críticas de forma determinista, sobre todo en la programación de las actividades críticas de movimiento de tierras.

Por otra parte, Morales-Molina et al. (2024) evaluaron la productividad de las empresas de construcción del país, manifestaron que la planificación rígida basada en tiempos causa ineficacias y falta de capacidad de respuesta correcta ante cambios no anticipados. Este hecho puede reforzar por qué se desarrollan modelos de productividad en construcción como PERT, junto a la incertidumbre, ya sea operacional o técnica, en la estimación de los resultados y en la programación de proyectos de construcción.

En suma, la literatura nacional muestra un reconocimiento del posible valor de la técnica PERT como herramienta de planificación; no obstante, su aplicación empírica con datos reales de campo es todavía escasa. En este contexto, la presente investigación puede ser considerada un aporte novedoso porque permite validar un modelo PERT con datos reales obtenidos de tres obras civiles de la ciudad de Guayaquil para obtener resultados que sean más representativos y aplicables a la práctica profesional en el país.

## CAPÍTULO III

### **Metodología**

#### ***3.1 Tipo y enfoque de investigación***

El presente estudio es de tipo aplicado dado que tiene como objetivo la solución de un problema práctico relacionado con la estimación de rendimientos en obras civiles. Es cuantitativa, ya que se basa en el análisis y comparación de datos numéricos provenientes de obras reales, a manera de complemento se anexó la consulta a cuatro (4) ingenieros civiles con experiencia en obras de movimiento de tierras y fundaciones a quienes se les formuló una pregunta respecto de su percepción del factor que más influye en el rendimiento de obras.

#### ***3.2 Información de las obras analizadas***

Se optó por seleccionar 3 proyectos de construcción civil recientes en la ciudad de Guayaquil que contaran con la documentación técnica necesaria, es decir, en lugar de una población y muestra se eligieron 3 proyectos de construcción civil. Para cada uno de estos proyectos se detalla la información siguiente:

- Área de construcción.
- Plazo contractual de ejecución.
- Coordenadas de ubicación.
- Actividades principales relacionadas con movimiento de tierras y fundaciones.
- Actividad, unidad de medida, cantidad total ejecutada, precio unitario y precio total.

- Rendimiento observado.
- Equipos principales empleados.

Las actividades se eligieron porque representan los procesos más habituales en las fases iniciales de cualquier obra civil, y constituyen la base para evaluar los rendimientos y validar el modelo propuesto.

### ***3.3 Diseño metodológico por fases***

#### ***Fase 1: Revisión documental***

En esta fase se ha hecho una recopilación de la información y bibliografía que se relaciona con la Programación de obras, así como con los métodos de estimación de rendimientos, y también de la aplicación de modelos probabilísticos como el PERT. La revisión de la documentación abarcó normativa ecuatoriana en vigor (NEC), manuales de construcción y bibliografía internacional sobre la producción en proyectos de edificación y de obras civiles.

#### ***Fase 2: Recolección de datos***

Para el análisis, se emplearon documentos técnicos de tres proyectos reales, específicamente los análisis de precios unitarios (APU). La información fue enriquecida con entrevistas a ingenieros residentes, lo que permitió sistematizar información de rendimientos de ejecución. Con base en esta evidencia se determinaron de forma objetiva los valores de rendimiento optimista ( $R_o$ ), más probable ( $R_m$ ) y pesimista ( $R_p$ ) para actividad.

### ***Fase 3: Cálculo con PERT***

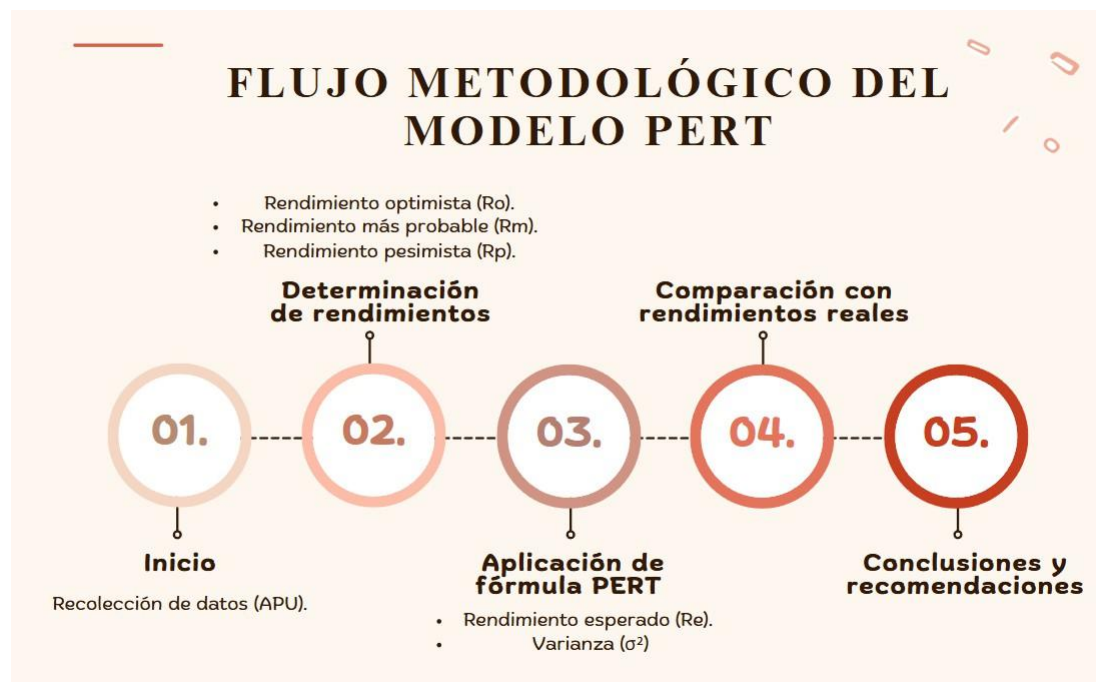
Una vez determinados los tres valores de rendimientos, se aplicaron las fórmulas de la técnica PERT para elaborar los rendimientos esperados de cada actividad, su desviación típica y su varianza. Estos resultados sirvieron de base para confeccionar comparativas entre los cronogramas de campo y los obtenidos mediante el modelo planteado.

### ***Fase 4: Validación del modelo***

De forma posterior, se contrastaron los rendimientos calculados con los datos reales de obra, definiendo márgenes de error y analizando las causas de la desviación. Entre las variables consideradas estaban nichos climáticos, cantidad recursos existente, la planificación a priori y los imprevistos generados por la ejecución.

### ***Fase 5: Conclusiones y recomendaciones***

Por último, a partir de los resultados obtenidos se formularon conclusiones referentes a la utilidad del modelo, así como recomendaciones orientadas a mejorar la estimación de rendimientos en proyectos análogos. Asimismo, se sugiere la incorporación del modelo PERT como herramienta de apoyo complementaria a los métodos de planificación tradicionalmente empleados en el sector de la construcción.



*Ilustración 1. Diagrama de flujo metodológico del modelo PERT.*

**Fuente:** Elaboración propia.

La Ilustración 1 presenta un flujograma que representa la metodología utilizada en este estudio. Comprende el proceso de la recolección de datos en el campo hasta la sistematización de datos en las respectivas tablas técnicas hasta la estimación de las estimaciones de rendimientos, de forma optimista, más probable y pesimista. A continuación, se aplicó la fórmula PERT para obtener los rendimientos esperados y las varianzas las cuales posteriormente se contrastaron con los rendimientos reales derivados de las obras analizadas. Este modelo fue validado por medio de esta comparación, además de que se generaron conclusiones y recomendaciones para su aplicación futura en los proyectos civiles.

### **3.4 Obras seleccionadas para el estudio**

#### ***Proyecto: LA DANESA (Naranjito)***

La danesa es una instalación turística que da lugar a una pequeña urbanización incluida dentro de ella, las parcelas de las viviendas están a una cota más baja que las calles perimetrales, con una diferencia cercana a los 40 cm. El proyecto consiste en el desmonte de la capa superficial existente, la reconformación del terreno de hasta unos 30 cm de profundidad y operar el terreno utilizando material de mejoramiento del propio lugar. El propósito es homogeneizar los lotes en relación con las calles, además de elevar un poco la plataforma que nos da la posibilidad de tener condiciones adecuadas de estabilidad y de drenaje.

- Área de construcción: 9,086.12 m<sup>2</sup>

- Coordenadas de ubicación:

Latitud: 2°09'17" S

Longitud: 79°22'25" W

- Plazo: 60 días

- Actividades principales:

- Desbroce (5cm).
- Excavación sin clasificar.
- Relleno con material de préstamo importado.

- Reconformación.
- Desalojo.

***Proyecto: ZEDE Fase 02 (Guasmo sur)***

La presente iniciativa consiste en la realización de trabajos de movimiento de tierras, es decir, trabajos de corte y relleno en toda el área de intervención. Estas actividades conllevan la extracción del suelo natural existente, su retirada o su relocalización, así como la conformación y nivelación del terreno hasta alcanzar la cota de subrasante que en su caso establece el plano de diseño.

- Área de construcción: 102 100 m<sup>2</sup>

- Coordenadas de ubicación:

Latitud: 2°16'33.10" S

Longitud: 79°53'51.85" O

- Plazo: 360 días

- Actividades principales:

- Desbroce y limpieza.
- Colocación y compactación de material de mejoramiento.
- Excavación incluye desalojo.

***Proyecto: Sala de ventas jardines del Buijo (Samborondón)***

Este proyecto conlleva a la ejecución de trabajos de excavación, reconformación y relleno del terreno, con el objetivo de preparar el lugar destinado a la construcción del departamento modelo y de la sala de ventas de una urbanización. Estas actuaciones permiten la preparación de la plataforma de cimentación a condición de garantizar la ejecución de las actividades con los niveles y soportes adecuados necesarios para la construcción proyectada.

- Área de construcción: 558,80 m<sup>2</sup>

- Coordenadas de ubicación:

Latitud: 2°03'22.64" S

Longitud: 79°51'54.52" O

- Plazo: 10 días

- Actividades principales:

- Desbroce y limpieza.
- Relleno con material de sitio.
- Reconformación.

### ***3.5 Recolección de datos***

De cara al desarrollo del modelo, se incorporó información procedente de tres proyectos ejecutados en la ciudad de Guayaquil y zonas vecinas. La información fue originada, a partir de los archivos APU en Excel que fueron entregados por un Ingeniero Civil que ocupaba un cargo de Alta Dirección en los proyectos (comunicación personal,

2025) tal y como los entregó el ingeniero stricto sensu como parte de un aporte técnico exclusivo para el estudio en particular.

Los archivos de Excel, muy generados como tasas de productividad y recursos de los tres proyectos fueron reestructurados en tablas que tenían:

- ❖ Actividad
- ❖ Unidad de medida
- ❖ Cantidad total ejecutada
- ❖ Precio unitario y precio total
- ❖ Rendimiento

#### Principales recursos empleados

Considerando la naturaleza interno-sensible de los archivos que contienen datos técnicos relacionados con proyectos reales, el hecho de compartir este tipo de archivos es prácticamente imposible y si se quiere hacerlo, éste puede ser revisado por el jurado evaluador o las autoridades académicas que pudiera solicitarlos mediante el autor de esta tesis.

A modo de análisis, para la obtención de información para esta tesis, se extrajeron los conceptos de coste más relevantes para cada uno de los proyectos a fin de facilitar la comparación del análisis de las actividades de excavación-movimiento de tierra y preparación del terreno, también actuar en la mejora del coste de sus costes presupuestos y reales, extrayendo la unidad de medida, la cantidad ejecutada, el coste unitario, el coste total para cada actividad-imputación y el equipo principal utilizado,

con sus equipos relevantes, así como la tasa de producción que esta última se expresa la tasa de horas por unidad.

Este detalle da cuenta de la eficiencia de la ejecución por cada actividad y los recursos-referentes y equipos empleados, lo que da lugar al establecimiento de comparaciones de manera objetiva entre el rendimiento real y el esperado y, por lo general con la posterior obtención de la variación para cada ítem. También las tablas son consideradas en la base de datos fundamentales que van incluidas en el desarrollo de la metodología PERT, al incluir las principales informaciones de tiempo y recursos del proyecto.

A continuación, se presenta el detalle de cada proyecto:

***Proyecto 1: La Danesa (Naranjito)***

**Tabla 1.** *Costos unitarios, cantidades y rendimientos de las actividades principales de la obra "La Danesa".*

| Actividad                 | Unidad         | Cantidad | Precio Unitario (USD) | Precio total | Rendimiento (Horas/Unidad) | Equipos principales      |
|---------------------------|----------------|----------|-----------------------|--------------|----------------------------|--------------------------|
| Desbroce (5cm)            | m <sup>2</sup> | 2.152,62 | 0,55                  | \$ 1.183,94  | 0.00083 h/m <sup>2</sup>   | Tractor LD               |
| Excavación sin clasificar | m <sup>3</sup> | 2.234,81 | 1,66                  | \$ 3.709,78  | 0.02 h/m <sup>3</sup>      | Excavadora               |
| Relleno con material de   | m <sup>3</sup> | 1.061,52 | 15,53                 | \$ 16.485,41 | 0.017 h/m <sup>3</sup>     | Tractor LD, Rodillo liso |

|                       |    |          |      |                 |                 |                                                          |
|-----------------------|----|----------|------|-----------------|-----------------|----------------------------------------------------------|
| préstamo<br>importado |    |          |      |                 |                 |                                                          |
| Desalojo              | m³ | 1.173,29 | 9,90 | \$<br>11.615,57 | 0.025<br>h/m³   | Camiones de<br>desalojo                                  |
| Reconformación        | m³ | 2.152,62 | 1,42 | \$<br>3.056,72  | 0,00909<br>h/m³ | Rodillo liso,<br>retroexcavadora<br>y<br>motoniveladora. |

**Fuente:** Análisis de precios unitarios, Proyecto "La Danesa" (2025)

***Proyecto 2: Zede (Guasmo Sur, Guayaquil)***

Se recopilieron las actividades principales relacionadas con movimiento de tierras y fundaciones. Los datos se organizaron en la siguiente tabla:

**Tabla 2.** Costos unitarios, cantidades y rendimientos de las actividades principales de la obra "Zede".

| Actividad              | Unidad | Cantidad | P.<br>Unitario<br>(USD) | P.<br>Total<br>(USD) | Rendimiento<br>(h/unidad) | Recursos<br>principales                               |
|------------------------|--------|----------|-------------------------|----------------------|---------------------------|-------------------------------------------------------|
| Desbroce y<br>limpieza | ha     | 10,21    | 1.015,25                | 10.<br>365,70        | 2,75862                   | Mano de obra<br>(peón), tractor y<br>retroexcavadora. |

|                                                       |    |           |       |            |         |                                          |
|-------------------------------------------------------|----|-----------|-------|------------|---------|------------------------------------------|
| Colocación y compactación de material de mejoramiento | m³ | 23.580,93 | 11,40 | 268.822,60 | 0,01754 | Retroexcavadora, rodillo liso y tractor. |
| Excavación incluye desalojo                           | m³ | 32.691    | 5,57  | 182.088,87 | 0,01724 | Excavadora.                              |

**Fuente:** Análisis de precios unitarios, Proyecto “Zede” (2025)

***Proyecto 3: Sala de ventas jardines del Buijo (Buijo histórico)***

**Tabla 3.** Costos unitarios, cantidades y rendimientos de las actividades principales de la obra “Sala de ventas jardines del Buijo”.

| Actividad                     | Unidad | Cantidad | P. Unitario (USD) | P. Total (USD) | Rendimiento (h/unidad) | Recursos principales            |
|-------------------------------|--------|----------|-------------------|----------------|------------------------|---------------------------------|
| Desbroce y limpieza           | m²     | 558,800  | \$0,45            | \$251,46       | 0,01                   | Retroexcavadora                 |
| Relleno con material de sitio | m³     | 148,25   | \$7,16            | \$1.061,47     | 0,02632                | Retroexcavadora y rodillo liso. |
| Reconformación                | m²     | 558,80   | \$1,29            | \$720,85       | 0,01667                | Retroexcavadora y rodillo liso. |

**Fuente:** Análisis de precios unitarios, Proyecto “Sala de ventas jardines del Buijo” (2025)

### **Conversión de m<sup>2</sup> a m<sup>3</sup> en la actividad de reconformación**

Para convertir la reconformación de m<sup>2</sup> a m<sup>3</sup> usando el espesor efectivo, usaremos la siguiente fórmula:

$$\text{Volumen (m}^3\text{)} = \text{Área(m}^2\text{)} \times \text{espesor efectivo (m)}$$

$$\text{Volumen (m}^3\text{)} = 558,80 \text{ (m}^2\text{)} \times 0,10 \text{ (m)}$$

$$\text{Volumen (m}^3\text{)} = 55,88 \text{ m}^3$$

$$\text{Cálculo de horas} = 0,01667 \text{ h/m}^2 \times 558,80 \text{ m}^2 = 9,32 \text{ h}$$

$$\text{Rendimiento (h/m}^3\text{)} = 9,32 \text{ h} / 55,88 \text{ m}^3 = 0,1667 \text{ h/m}^3$$

$$\begin{aligned} \text{Relleno con material de sitio} + \text{reconformación} &= 0,02632 \text{ h/m}^3 + 0,1667 \text{ h/m}^3 \\ &= 0,1930 \text{ h/m}^3 \end{aligned}$$

De manera paralela a la recopilación documental y el examen de los registros de obra, se le sumó la realización una entrevista breve como misma técnica de recolección de información. La finalidad de la entrevista fue identificar, según la percepción de profesionales con experiencia en el ámbito concreto, qué variables son las que más

afectan a los rendimientos de las actividades que se llevan a cabo en movimiento de tierras y fundaciones.

La entrevista se limitó a una única pregunta que fue formulada a tres ingenieros civiles con más de 5 años de experiencia en la ejecución y la supervisión de proyectos de construcción. Las respuestas se recogieron por escrito y se garantizó el anonimato de los participantes garantizando de esta manera la ética y la fiabilidad del proceso. Se expondrá el análisis de dichas respuestas en el Capítulo IV, en la sección de análisis de percepciones de los profesionales entrevistados.

### ***3.6 Relación de rendimientos y presupuesto***

A lo largo de la investigación se consideró importante determinar el rendimiento de cada una de las actividades de los proyectos analizados, ya que este rendimiento constituye el principio para determinar la productividad de los equipos y la mano de obra. Los rendimientos de productividad obtenidos del APU (Análisis de Precios Unitarios de cada proyecto, el APU establece la relación proporcional de los recursos utilizados y del trabajo realizado) sirvieron como punto de partida para aplicar PERT, estableciendo así la línea base objetiva desde la cual aplicar el modelo PERT y posteriormente compararlos con los índices de rendimiento determinado en campo.

## CAPÍTULO IV

### Resultados

#### 4.1 Análisis comparativo de rendimientos

Con la finalidad de evaluar de forma objetiva los resultados de las tres obras que conformaban el objeto de este estudio, se definieron actividades similares, las cuales generarían un marco de información a nivel de. Dichas actividades, por otra parte, resultan ser congruentes con procesos de construcción concretos en actividades de movimientos de tierras y acondicionamiento de terreno, lo que las convierte en un marco de información comparable a nivel del tiempo y productividad.

De este modo, las actividades a comparar han sido las siguientes: (i) desbroce y limpieza, (ii) excavación y desalojo de materiales y (iii) relleno, compactación y reconformación de terreno. En la siguiente sección se presentan las tablas comparativas donde se muestran los datos que proceden de cada una de las obras.

**Tabla 4.** Comparación de rendimientos en desbroce y limpieza.

| Obra                              | Descripción de la actividad      | Rendimiento (h/m <sup>2</sup> ) | Rendimiento según PERT |
|-----------------------------------|----------------------------------|---------------------------------|------------------------|
| La Danesa                         | Desbroce (5 cm).                 | 0,00083 h/m <sup>2</sup>        | Más probable           |
| Zede                              | Desbroce y limpieza del terreno. | 0,000275862 h/m <sup>2</sup>    | Optimista              |
| Sala de ventas Jardines del Buijo | Desbroce y limpieza del área.    | 0,01 h/m <sup>2</sup>           | Pesimista              |

**Fuente:** Análisis de precios unitarios, de los proyectos "Sala de ventas jardines del Buijo", "Zede" y "La Danesa". (2025)

**Tabla 5.** Comparación de rendimientos en excavación y desalojo.

| Obra                                     | Descripción de la actividad           | Rendimiento (h/m <sup>3</sup> ) | Rendimiento según PERT |
|------------------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------|------------------------|
| <b>La Danesa</b>                         | Excavación sin clasificar + desalojo. | 0,045 h/m <sup>3</sup>          | Más probable           |
| <b>Zede</b>                              | Excavación incluye desalojo.          | 0,01724 h/m <sup>3</sup>        | Optimista              |
| <b>Sala de ventas Jardines del Buijo</b> | Reconformación.                       | 0,1667 h/m <sup>3</sup>         | Pesimista              |

**Fuente:** Análisis de precios unitarios, de los proyectos "Sala de ventas jardines del Buijo", "Zede" y "La Danesa". (2025)

**Tabla 6.** Comparación de rendimientos en relleno y compactación / reconformación.

| Obra                                     | Descripción de la actividad                                  | Rendimiento (h/m <sup>3</sup> ) | Rendimiento según PERT |
|------------------------------------------|--------------------------------------------------------------|---------------------------------|------------------------|
| <b>La Danesa</b>                         | Relleno con material de préstamo importado + reconformación. | 0,026 h/m <sup>3</sup>          | Más probable           |
| <b>Zede</b>                              | Colocación y compactación de material de mejoramiento.       | 0,01754 h/m <sup>3</sup>        | Optimista              |
| <b>Sala de ventas Jardines del Buijo</b> | Relleno con material de sitio + reconformación.              | 0,1930 h/m <sup>3</sup>         | Pesimista              |

**Fuente:** Análisis de precios unitarios, de los proyectos "Sala de ventas jardines del Buijo", "Zede" y "La Danesa". (2025)

## **4.2 Aplicación de PERT a los datos recopilados**

### **4.2.1 Rendimientos en desbroce y limpieza**

Rendimiento optimista (Ro): 0,000275862 h/m<sup>2</sup>

Rendimiento más probable (Rm): 0,00083 h/m<sup>2</sup>

Rendimiento pesimista (Rp): 0,01 h/m<sup>2</sup>

Cálculo:

- Rendimiento esperado (Re) = (Ro + 4Rm + Rp) / 6

$$\text{Rendimiento esperado (Re)} = [0,000275862 + 4*(0,00083) + 0,01] / 6$$

$$\text{Rendimiento esperado (Re)} = 0,002266 \text{ h/m}^2$$

- Varianza ( $\sigma^2$ ) = [(Rp - Ro) / 6]<sup>2</sup>

$$\text{Varianza } (\sigma^2) = [(0,01 - 0,000275862) / 6]^2$$

$$\text{Varianza } (\sigma^2) = 0,0000026266$$

- Desviación estándar ( $\sigma$ ) =  $\sqrt{\sigma^2}$

$$\text{Desviación estándar } (\sigma) = \sqrt{0,0000026266} = 0,001620687$$

### **4.2.2 Rendimientos en excavación y desalojo**

Rendimiento optimista (Ro): 0,01724 h/m<sup>3</sup>

Rendimiento más probable (Rm): 0,045 h/m<sup>3</sup>

Rendimiento pesimista (Rp): 0,1667 h/m<sup>3</sup>

Cálculo:

- Rendimiento esperado (Re) = (Ro + 4Rm + Rp) / 6

$$\text{Rendimiento esperado (Re)} = [0,01724 + 4*(0,045) + 0,1667] / 6$$

$$\text{Rendimiento esperado (Re)} = 0,06066 \text{ h/m}^3$$

- Varianza ( $\sigma^2$ ) =  $[(R_p - R_o) / 6]^2$

$$\text{Varianza } (\sigma^2) = [(0,1667 - 0,01724) / 6]^2$$

$$\text{Varianza } (\sigma^2) = 0,000621$$

- Desviación estándar ( $\sigma$ ) =  $\sqrt{\sigma^2}$

$$\text{Desviación estándar } (\sigma) = \sqrt{0,000621}$$

$$\text{Desviación estándar } (\sigma) = 0,02499199$$

#### ***4.2.3 Rendimientos en relleno y compactación / reconfiguración.***

$$\text{Rendimiento optimista (Ro): } 0,1930 \text{ h/m}^3$$

$$\text{Rendimiento más probable (Rm): } 0,026 \text{ h/m}^3$$

$$\text{Rendimiento pesimista (Rp): } 0,01754 \text{ h/m}^3$$

Cálculo:

- Rendimiento esperado (Re) =  $(R_o + 4R_m + R_p) / 6$

$$\text{Rendimiento esperado (Re)} = [0,01754 + 4*(0,026) + 0,1930] / 6$$

$$\text{Rendimiento esperado (Re)} = 0,0524 \text{ h/m}^3$$

- Varianza ( $\sigma^2$ ) =  $[(R_p - R_o) / 6]^2$

$$\text{Varianza } (\sigma^2) = [(0,1930 - 0,01754) / 6]^2$$

$$\text{Varianza } (\sigma^2) = 0,00086$$

- Desviación estándar  $(\sigma) = \sqrt{\sigma^2}$

$$\text{Desviación estándar } (\sigma) = \sqrt{0,00086}$$

$$\text{Desviación estándar } (\sigma) = 0,02932$$

#### ***4.3 Análisis de percepciones de profesionales entrevistados***

Con el fin de enriquecer los resultados del estudio se realizó una entrevista a cuatro ingenieros con experiencia en proyectos de movimiento de tierras y fundaciones la pregunta planteada fue:

**Pregunta:** ¿Desde su experiencia profesional cuáles considera que son las principales variables o factores que afectan los rendimientos en actividades de movimiento de tierra y fundaciones?

**Ingeniero civil 1 (15 años de experiencia en supervisión de obras viales):** Señaló que los rendimientos están fuertemente influenciados por las condiciones climáticas particularmente las lluvias, ya que generan retrasos en la operación de maquinaria y afectan la compactación de los suelos. Además, destacó la importancia de la disponibilidad oportuna de materiales y el mantenimiento preventivo de los equipos para evitar paralizaciones.

**Ingeniero civil 2 (10 años de experiencia en construcción de fundaciones profundas):** Refiere que la calidad del estudio de suelos y la exactitud de la planificación preliminar son los factores que la condicionan de una manera más

determinante. Indicó que cuando los estudios previos son deficientes se generan en obra imprevistos que afectan la productividad. Asimismo, resaltó la capacitación del personal como un elemento crítico necesario para el sostenimiento de altos índices de rendimiento.

**Ingeniero civil 3 (20 años de experiencia en dirección de proyectos de infraestructura):** Sostuvo que la variable principal es la administración de los recursos humanos y logísticos. Desde su perspectiva, los problemas de la movilidad de los equipos y la escasa colaboración entre los subcontratistas suelen ser los problemas más críticos en la productividad. También, destacó que la seguridad en el trabajo es un problema que, si no se atiende, provoca accidentes y paradas que afectan la productividad.

**Ingeniero civil 4 Mgs. en gestión de proyectos (12 años de experiencia en construcción y consultoría):** Afirmó que la variable más destacada es la operatividad, entendida como la capacidad para realizar trabajo dentro de las condiciones de construcción actuales. Explicó que este factor abarca el acceso al sitio, la logística, la disponibilidad de los materiales y el equipo, así como la reacción ante contingencias. A su juicio, incluso con una buena planificación, la operatividad en el campo es crítica para lograr el desempeño proyectado.

Las contestaciones que dieron los ingenieros/técnicos entrevistados permiten reconocer coincidencias y discrepancias respecto a los factores que afectan la productividad en actividades de movimiento de tierras y fundaciones.

Para comenzar, los profesionales entrevistados coincidieron en que las condiciones climatológicas son una variable importante en este sentido. Las lluvias intensas imposibilitan la operatividad de la maquinaria, la compactación y, en función normal de las actividades laborales.

Por otra parte, las cuestiones relacionadas con la calidad de la maquinaria y con la calidad del estado de los estudios de suelos pasaron a ser consideradas con la calidad técnica, en la medida en que si una investigación geotécnica se hace de un modo incompleto o incorrecto se genera una cadena de cambios en el transcurso de la obra y si la maquinaria está en pésimas condiciones hace paradas de trabajo y genera pérdidas de tiempo en el sitio.

Del mismo modo, se ocupó de la gestión de la ingeniería de los recursos humanos y la logística, la correcta planificación de la gestión, la formación y la cooperación con los subcontratistas resulta clave para lograr productividad. Un mal manejo de estos recursos provocaría que el proceso constructivo sea ineficaz.

Estando, dicho de otra manera, la seguridad en el trabajo que, aunque no explícitamente nombrada, se entiende que está indirectamente asociada con la productividad. Un trabajo inseguro provoca no sólo lesiones, sino que provocan también retrasos que afectan el cumplimiento de los tiempos y la productividad del equipo.

Evidentemente, uno de los informantes dio gran importancia a la operatividad, ya que es la característica más importante, dado que integra a todo lo demás y recoge además las características más relevantes de un sistema. A tal tamaño de definición introduce la capacidad efectiva de llevar a cabo las operaciones según lo que había sido planeado dentro del confines del espacio laboral, que está entendido como el acceso al terreno, la logística, la disponibilidad de los medios y también la facultad de reaccionar ante contingencias.

En este contexto, la operatividad funciona como el criterio principal para determinar si el rendimiento que se preveía sería disputado sobre el terreno durante la fase de planificación, podría ser alcanzado en el terreno.

En términos generales, las impresiones así recogidas refuerzan la percepción que el rendimiento en la construcción no es exclusivamente dependiente de los cálculos de probabilidades de tipo inferencial vinculado a la técnica PERT; sino que depende en cambio de la combinación de factores externos, factores técnicos, factores de gestión y, más que nunca, será el condicionamiento por la operatividad en el campo, el que hará que se tengan que tener en cuenta esas consideraciones, que permitirán confirmar la viabilidad y productividad de los diferentes proyectos de movimiento de tierras y cimentaciones.

El Informe de las entrevistas a los Ingenieros recoge resultados que contienen la importancia para la consolidación y el movimiento de tierras y de las obras de cimentación. A modo de conclusión, estos casos han recogido y analizado el influjo que normalmente el clima, unas ciertas condiciones técnicas, la logística de los insumos, y la operatividad pueden tener en la particular y severa forma de cada uno.

Las mismas conclusiones, de forma cualitativa, permiten contrastar los resultados que se desprenden del análisis cuantitativo de las tres obras que hemos analizado en este trabajo, apreciando la varianza, el rendimiento esperado, el rendimiento real e incluso la desviación estándar de las actividades homólogas. En la siguiente sección, a este propósito, serán presentados los resultados a los operadores a partir de los cuales se encuentran nexos y divergencias que, a la sistematización, refuercen el modelo que se ha confeccionado.

#### ***4.4 Comparación global de las tres obras.***

Para sintetizar en un breve resumen todas las actividades que se han estudiado en este análisis, me dispongo a realizar una comparación global de los tres proyectos seleccionados. El análisis se circunscribe específicamente a los indicadores estadísticos siguientes: varianza, retorno esperado o calculado, retorno real o de campo de los trabajos en el movimiento de tierras, el realizado en cimentaciones y la desviación estándar de actividades estructuralmente iguales en ambos trabajos.

Esta comparación permite obtener conclusiones sobre la fiabilidad que tienen las proyecciones obtenidas mediante la técnica PERT en contraposición con las efectivas resultantes de los trabajos ejecutados en el campo o en contraposición con los resultados de campo y las diferencias más importantes que se observan en estas dos fotografías.

Asimismo, una comparación de varios proyectos permite obtener diferencias no sólo generales sino también particulares en los comportamientos de productividad de cada construcción y que son importantes para considerar la validez del modelo.

También cabe mencionar que el rendimiento determina económicamente a su vez el presupuesto para cada rubro puesto que el gasto se basa en el tiempo de ejecución y en los recursos que requieren para una actividad determinada. Un bajo rendimiento implica que la actividad requiere más trabajo y de más horas de uso de equipos, lo que afecta de forma negativa en el coste unitario.

Esto a su vez afecta de forma negativa en el presupuesto total en la misma línea. Un rendimiento más alto implica que el gasto en la ejecución se realiza de forma más eficiente, lo que incrementa el margen de ejecución y disminuye el gasto económico.

De esta manera se puede ver que los rendimientos no sólo constituyen un indicador de productividad en la obra. También son un factor económico en la planificación general de cualquier proyecto de construcción.

**Tabla 7.** Comparación global de rendimientos, varianzas y rendimientos reales de las actividades semejantes en las tres obras seleccionadas.

|                     |                           |                         |                                  | Rendimiento real         |                              |                                   |
|---------------------|---------------------------|-------------------------|----------------------------------|--------------------------|------------------------------|-----------------------------------|
| Actividad           | Rendimiento esperado (Re) | Varianza ( $\sigma^2$ ) | Desviación estándar ( $\sigma$ ) | La Danesa                | Zede                         | Sala de ventas Jardines del Buijo |
| Desbroce y limpieza | 0,002266 h/m <sup>2</sup> | 0,0000026266            | 0,001620687                      | 0,00083 h/m <sup>2</sup> | 0,000275862 h/m <sup>2</sup> | 0,01 h/m <sup>2</sup>             |

|                               |                          |          |            |                        |                          |                         |
|-------------------------------|--------------------------|----------|------------|------------------------|--------------------------|-------------------------|
| Excavación y desalojo         | 0,06066 h/m <sup>3</sup> | 0,000621 | 0,02499199 | 0,045 h/m <sup>3</sup> | 0,01724 h/m <sup>3</sup> | 0,1667 h/m <sup>3</sup> |
| Compactación / reconformación | 0,0524 h/m <sup>3</sup>  | 0,00086  | 0,02932    | 0,026 h/m <sup>3</sup> | 0,01754 h/m <sup>3</sup> | 0,1930 h/m <sup>3</sup> |

**Fuente:** Análisis de precios unitarios, de los proyectos “Sala de ventas jardines del Buijo”, “Zede” y “La Danesa”. (2025)

Se presenta la comparación global entre los rendimientos esperados (calculados a partir de PERT), la desviación estándar, la varianza y los rendimientos reales observados en la Tabla 7, de donde se desprenderá la varianza en tanto indicador de la desviación.

De este análisis se puede obtener qué partidas se comportan en los términos esperados y cuáles muestran mayores diferencias, lo cual es un insumo válido para subsanar la planificación deudas nuevas en el futuro.

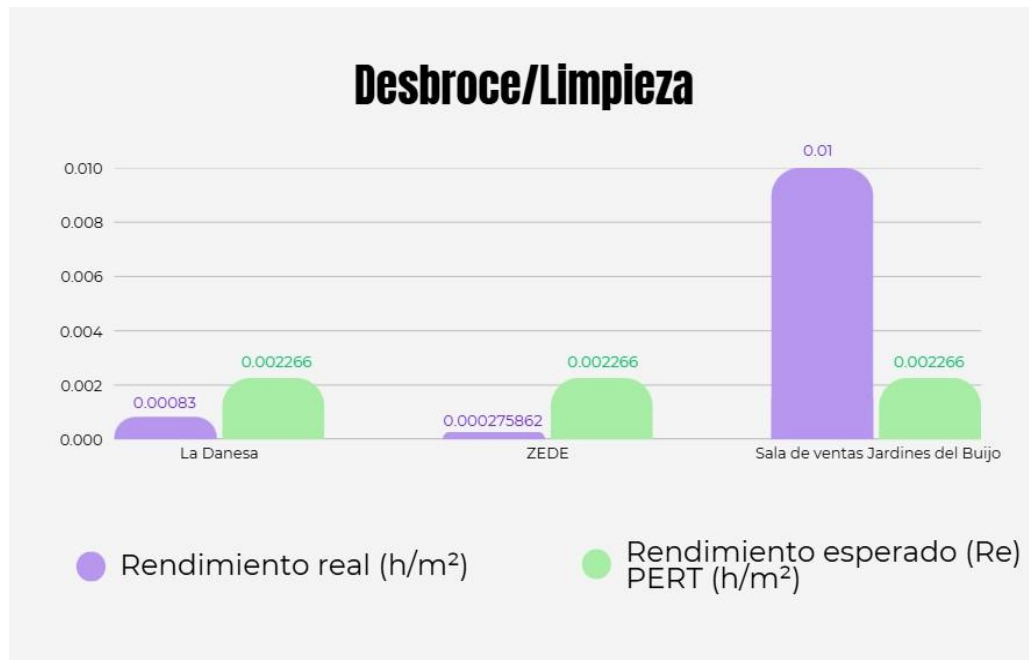
#### 4.4.1 Gráficos de barras comparativas entre rendimiento real vs. rendimiento esperado (PERT)



*Ilustración 2. Comparación de rendimientos reales vs. rendimiento esperado (PERT) en la actividad "Excavación y desalojo".*

**Fuente:** Elaboración propia.

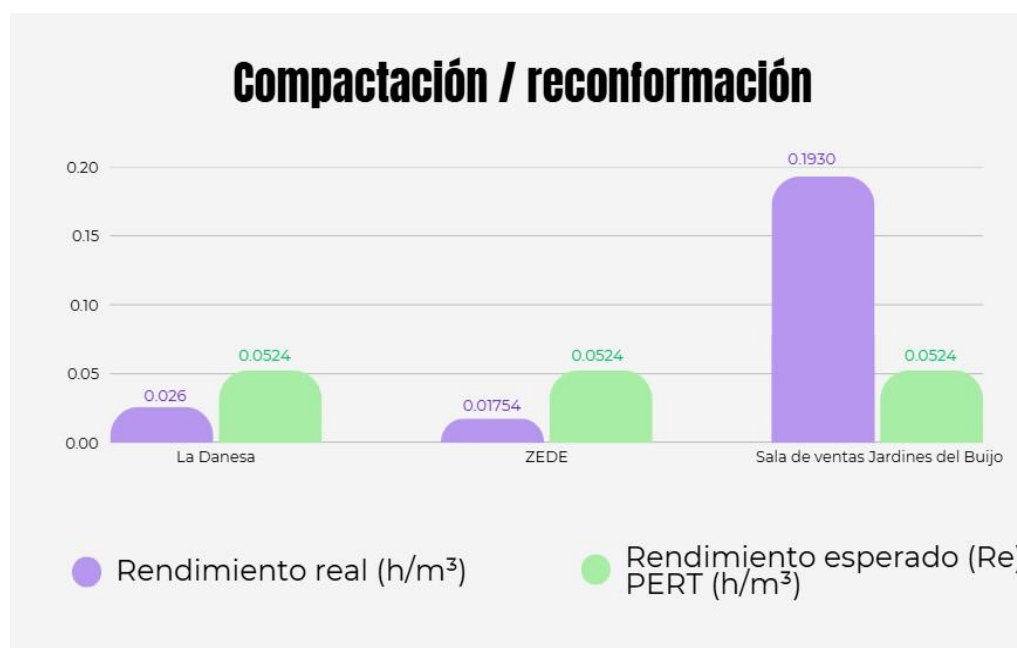
La ilustración 2 compara los rendimientos reales estimados con PERT en la actividad de excavación y desalojo. En este caso, las diferencias son más alternativas entre proyectos, pero se puede ver que el tipo de terreno, la disponibilidad de equipos y las circunstancias meteorológicas se encuentran entre los parámetros que inciden en la productividad.



*Ilustración 3. Comparación de rendimientos reales vs. rendimiento esperado (PERT) en la actividad "Desbroce / limpieza".*

**Fuente:** Elaboración propia.

En la ilustración 3 se lleva a cabo una comparación en la que se entienden los resultados reales de los tres proyectos y los resultados esperados de los resultados del cálculo PERT para la actividad de cepillado y limpieza. Las menores discrepancias entre los datos verdaderos y los datos observados en comparación con otras actividades comprueban que el proceso de construcción es más ágil y menos afectado por factores externos.



*Ilustración 4. Comparación de rendimientos reales vs. rendimiento esperado (PERT) en la actividad "Compactación / reconfiguración".*

**Fuente:** Elaboración propia.

Los resultados comparativos de los rendimientos para las actividades de relleno, compactación y reconfiguración están representados en la ilustración 4, el gráfico que se analiza aquí. El análisis gráfico confirma que la variabilidad es significativa, por lo que la técnica PERT es necesario que se alimente de registros históricos más detallados para conseguir mayor grado de precisión para este tipo de procesos constructivos.

#### ***4.5 Análisis del rubro: Desbroce (5cm) del proyecto "La Danesa"***

El cálculo de costos correspondiente al rubro Desbroce (5 cm) se realizó atendiendo a los equipos, mano de obra, materiales, transporte. Cada uno de estos componentes se ve afectado por el rendimiento, el cual se entiende como la cantidad de

horas que un determinado recurso (hombre o máquina) requiere para realizar una unidad de trabajo. Para esta actividad se consideró un rendimiento de 0,00083 horas por metro cuadrado (h/m<sup>2</sup>).

El precio unitario (PU) se obtiene aplicando la fórmula:  $PU = \frac{\text{Precio} \times \text{Rendimiento}}{\text{Rendimiento}}$

(Precio × Rendimiento)

De esta forma, los costes se distribuyen como proporcionalmente de entre los diferentes recursos. En el caso del desbroce, los elementos de mayor representatividad son el transporte externo de material (0,41 USD/m<sup>2</sup>, correspondiente al 89,13% del total) y el servicio de tractor (0,05 USD/m<sup>2</sup>, correspondiente al 10,87% de total). La mano de obra y las herramientas menores son poco relevantes, ya que, al considerar el rendimiento, su coste por unidad de área acaba resultando muy bajo.

El precio total del rubro se calcula multiplicando el precio unitario por la cantidad de área a invertir:

Precio Total = PU x cantidad

Precio Total = 0,55 USD/m<sup>2</sup> x 2152,62 m<sup>2</sup> = 1183,94 USD.

Esto significa que el rubro de desbroce representa un monto de 1183,94 USD dentro del presupuesto general del proyecto “La Danesa”.

La incidencia del rendimiento resulta clave en ese proceso, si el rendimiento fuese más reducido (es decir, si se necesitase más tiempo por unidad de superficie), los costes de mano de obra y de maquinaria se incrementarían y subirían tanto el precio

unitario como el total, en cambio, un mejor rendimiento implica una mayor productividad y, por consiguiente, un precio unitario más bajo.

En resumen, el rendimiento actúa de un regulador directo del coste, en el presente análisis la utilización del tractor supuso alcanzar una altísima eficiencia que redujo el peso de la mano de obra y concentró el coste en transporte y maquinaria. Como resultado el rubro de desbroce ha alcanzado un precio competitivo de 0,55 USD/m2 mejorando a su vez el presupuesto del proyecto.

| ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS       |                                                          |        |          |          |           |                             |         |
|-------------------------------------|----------------------------------------------------------|--------|----------|----------|-----------|-----------------------------|---------|
| Código:                             | 521005                                                   |        |          |          |           | Unidad:                     | m2      |
| Rubro:                              | 1.1.1                                                    |        |          |          |           | Rendimiento (Horas/Unidad): | 0,00083 |
| Descripción:                        | Desbroce (5cm)                                           |        |          |          |           |                             |         |
| COSTOS DIRECTOS                     |                                                          |        |          |          |           |                             |         |
| EQUIPOS Y HERRAMIENTAS              |                                                          |        |          |          |           |                             |         |
| Código                              | Descripción                                              | Unidad | Cantidad | Precio   | Rendim.   | Total                       | %       |
|                                     | Herramienta menor 5%MO                                   | %MO    | 5%MO     |          |           | 0,00                        | 0,00%   |
|                                     | SERVICIO ALQ. TRACTOR LD                                 | Hora   | 1,00000  | 55,00    | 0,00083   | 0,05                        | 10,87%  |
| Subtotal de Equipos y herramientas: |                                                          |        |          |          |           | \$ 0,05                     | 10,87%  |
| MANO DE OBRA                        |                                                          |        |          |          |           |                             |         |
| Código                              | Descripción                                              | Número | S.R.H.   | Rendim.  | Total     | %                           |         |
|                                     | Peón                                                     | 1,00   | 4,23     | 0,00083  | 0,00      | 0,00%                       |         |
|                                     | Cadenero                                                 | 1,00   | 4,28     | 0,00083  | 0,00      | 0,00%                       |         |
|                                     | Topógrafo                                                | 1,00   | 4,75     | 0,00083  | 0,00      | 0,00%                       |         |
| Subtotal de Mano de Obra:           |                                                          |        |          |          |           | \$ -                        | 0,00%   |
| MATERIALES                          |                                                          |        |          |          |           |                             |         |
| Código                              | Descripción                                              | Unidad | Cantidad | Precio   | Total     | %                           |         |
| Subtotal de Materiales:             |                                                          |        |          |          |           | \$ -                        | 0,00%   |
| TRANSPORTE                          |                                                          |        |          |          |           |                             |         |
| Código                              | Descripción                                              | Unidad | Cantidad | Tarifa/U | Distancia | Total                       | %       |
|                                     | Desalojo externo LD                                      | m3     | 0,06500  | 6,25     | 1,00      | 0,41                        | 89,13%  |
| Subtotal de Transporte:             |                                                          |        |          |          |           | \$ 0,41                     | 89,13%  |
| Costo Directo Total:                |                                                          |        |          |          |           | \$ 0,46                     |         |
| Precio Unitario Total               |                                                          |        |          |          |           | \$ 0,55                     |         |
| Son:                                | CERO CON 55/100 DÓLARES DE LOS ESTADOS UNIDOS DE AMÉRICA |        |          |          |           |                             |         |
|                                     | *Precio no incluye IVA.                                  |        |          |          |           |                             |         |

*Ilustración 5. Rubro de desbroce del proyecto "La Danesa".*

**Fuente:** Análisis de precios unitarios del proyecto "La Danesa".

#### ***4.6 Análisis del rubro: Desbroce y limpieza del proyecto "Zede"***

En el rubro de desbroce y limpieza del proyecto "ZEDE", el análisis de costos fue elaborado considerando tanto los equipos como la mano de obra, las herramientas, el transporte, todos ponderados según el rendimiento que se calculó para la actividad. En este caso, este rendimiento fue de 2,75862 horas por hectárea (h/ha), que es lo que representa el tiempo para hacer una unidad de área con los recursos asignados. Este rendimiento resulta determinante, ya que él depende el coste por hectárea de los equipos y del personal, siendo un componente muy directo del coste unitario.

El precio unitario del ítem se calculó en 1.015,25 USD/ha, que multiplicado por la cantidad de 10,21 ha, dio un coste de 10.365,70 USD, cantidad que es el coste que se integra en el presupuesto del proyecto bajo este rubro. En la estructura del coste se observa que el transporte externo de material es el componente predominante, con 760,00 USD/ha (83,84% del total). A continuación, el servicio de tractor, con 137,93 USD/ha (15,22%), la retroexcavadora y las herramientas menores con 6,90 USD/ha (0,76%) y 0,12 USD/ha (0,01%), respectivamente, y la mano de obra, un peón, presenta un coste bajo de 1,52 USD/ha (0,17%).

El rendimiento hace de este cálculo algo decisivo: un rendimiento más bajo, es decir, un aumento del tiempo por hectárea motivaría un aumento proporcional del coste de maquinaria y de mano de obra, incrementando así el precio unitario, y el total de ese ítem. Por otro lado, un mejor rendimiento mejora la productividad, y, por tanto, el coste directo de estos recursos disminuyendo el precio unitario. Este efecto, no obstante, ya que el transporte tiene un peso del 80% del coste total, hace que el rendimiento al final tenga un efecto poco marcado en el precio unitario.

| ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS       |                                                                    |        |           |          |           |                             |         |
|-------------------------------------|--------------------------------------------------------------------|--------|-----------|----------|-----------|-----------------------------|---------|
| Código:                             | 522022                                                             |        |           |          |           | Unidad:                     | ha      |
| Rubro:                              | 1.1.1                                                              |        |           |          |           | Rendimiento (Horas/Unidad): | 2,75862 |
| Descripción:                        | DEBROCE Y LIMPIEZA                                                 |        |           |          |           |                             |         |
|                                     |                                                                    |        |           |          |           |                             |         |
| COSTOS DIRECTOS                     |                                                                    |        |           |          |           |                             |         |
| EQUIPOS Y HERRAMIENTAS              |                                                                    |        |           |          |           |                             |         |
| Código                              | Descripción                                                        | Unidad | Cantidad  | Precio   | Rendim.   | Total                       | %       |
|                                     | SERVICIO ALQ. TRACTOR                                              | Hora   | 1,00000   | 50,00    | 2,75862   | 137,93                      | 15,22%  |
|                                     | SERVICIO ALQ. RETROEXCAVADORA (HR)                                 | Hora   | 0,10000   | 25,00    | 2,75862   | 6,90                        | 0,76%   |
|                                     | Herramienta menor 5%MO                                             | %MO    | 8%MO      |          |           | 0,12                        | 0,01%   |
| Subtotal de Equipos y herramientas: |                                                                    |        |           |          |           | \$ 144,95                   | 15,99%  |
| MANO DE OBRA                        |                                                                    |        |           |          |           |                             |         |
| Código                              | Descripción                                                        | Número | S.R.H.    | Rendim.  | Total     | %                           |         |
|                                     | Peón                                                               | 0,13   | 4,23      | 2,75862  | 1,52      | 0,17%                       |         |
| Subtotal de Mano de Obra:           |                                                                    |        |           |          | \$ 1,52   | 0,17%                       |         |
| MATERIALES                          |                                                                    |        |           |          |           |                             |         |
| Código                              | Descripción                                                        | Unidad | Cantidad  | Precio   | Total     | %                           |         |
| Subtotal de Materiales:             |                                                                    |        |           |          | \$ -      | 0,00%                       |         |
| TRANSPORTE                          |                                                                    |        |           |          |           |                             |         |
| Código                              | Descripción                                                        | Unidad | Cantidad  | Tarifa/U | Distancia | Total                       | %       |
|                                     | Desalojo externo 0.16 \$                                           | m3-km  | 250,00000 | 0.16     | 19,00     | 760,00                      | 83,84%  |
| Subtotal de Transporte:             |                                                                    |        |           |          |           | \$ 760,00                   | 83,84%  |
| Costo Directo Total:                |                                                                    |        |           |          |           | \$ 906,47                   |         |
| Precio Unitario Total               |                                                                    |        |           |          |           | \$ 1.015,25                 |         |
| Son:                                | UNO MIL QUINCE CON 25/100 DÓLARES DE LOS ESTADOS UNIDOS DE AMÉRICA |        |           |          |           |                             |         |
|                                     | *Precio no incluye IVA                                             |        |           |          |           |                             |         |

*Ilustración 6. Rubro de desbroce y limpieza del proyecto "Zede".*

**Fuente:** Análisis de precios unitarios del proyecto "Zede".

#### **4.7 Análisis del rubro: Desbroce y limpieza del área del proyecto "Sala de ventas Jardines del Buijo"**

En lo que se refiere a la actividad de limpieza y despeje inherente a la "sala de ventas de Jardines de Buijo", se determinó el gasto del equipamiento y del transporte necesarios para llevar a cabo dicha actividad en base al rendimiento normalizado señalado. En este momento, el rendimiento normalizado considerado fue 0.01h/m<sup>2</sup>, que es el tiempo que la maquinaria tardaría en ejecutar la actividad en una unidad de

superficie. A partir de aquí, se concluyó un precio unitario de 0.45 USD/m<sup>2</sup>, cuya multiplicación de este precio por una superficie de 558.8 m<sup>2</sup> se tradujo en la cifra de 251.46 USD. Esta cantidad corresponde a la actividad de limpieza y despeje del presupuesto técnico del proyecto. A continuación, con base en los elementos del costo, el servicio de retroexcavadora, con 0.25 USD/m<sup>2</sup> se convierte en la mayor fuente de aporte del costo (62.50%), por otro lado el ítem de transporte externo del material desmalezado, representa un aporte de 0.15 USD/m (37.50%). Finalmente, la mano de obra no contribuye a los costos, así como tampoco lo hacen los materiales pues se lleva a cabo una operación altamente mecanizada en la que el equipo y la disposición de las materias le hacen alcanzar un costo muy elevado.

Se llega así a la conclusión más sencilla para justificar por qué el rendimiento acaba por convertirse en el factor más relevante de la estimación. Cuando se alarga el tiempo necesario para llevar a cabo una operación en un m<sup>2</sup> determinado, se incrementan los costes de llevar a cabo el trabajo con retroexcavadora y, como consecuencia de ello, el precio unitario y el total de la categoría se ven elevados. Por el contrario, en el caso de poder establecer una mejora en el rendimiento, o también lo que es lo mismo, en la productividad del equipo, el precio por m<sup>2</sup> desciende y el precio unitario se convierte en un precio competitivo. En este caso, al ser un coste totalmente propio se vería la incidencia que tiene, pero no sería del interés del costo total, amortiguando el impacto que puede llegar a tener el rendimiento sobre la cifra total aunque la maquinaria destaca en su incidencia.

Finalmente, se establece que con un rendimiento de 0.01 h/m<sup>2</sup>, el precio unitario o final del trabajo variando de 0.45 USD/m<sup>2</sup>, que aplicado a la superficie de 558.8 m<sup>2</sup>,

resulta en un precio total de 251.46 USD. Como consecuencia el análisis permite verificar que el control del rendimiento del equipo y la gestión de la incidencia del transporte representa el mayor impacto en el costo del ítem.

| ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS       |                                                          |        |          |          |           |                             |        |
|-------------------------------------|----------------------------------------------------------|--------|----------|----------|-----------|-----------------------------|--------|
| Código:                             | 517001                                                   |        |          |          |           | Unidad:                     | m2     |
| Rubro:                              | 1.1.1                                                    |        |          |          |           | Rendimiento (Horas/Unidad): | 0,01   |
| Descripción:                        | Desbroce y limpieza                                      |        |          |          |           |                             |        |
|                                     |                                                          |        |          |          |           |                             |        |
|                                     |                                                          |        |          |          |           |                             |        |
| COSTOS DIRECTOS                     |                                                          |        |          |          |           |                             |        |
| EQUIPOS Y HERRAMIENTAS              |                                                          |        |          |          |           |                             |        |
| Código                              | Descripción                                              | Unidad | Cantidad | Precio   | Rendim.   | Total                       | %      |
|                                     | SERVICIO ALQ. RETROEXCAVADORA (HR)                       | Hora   | 1,00000  | 25,00    | 0,01000   | 0,25                        | 62,50% |
| Subtotal de Equipos y herramientas: |                                                          |        |          |          |           | \$ 0,25                     | 62,50% |
|                                     |                                                          |        |          |          |           |                             |        |
| MANO DE OBRA                        |                                                          |        |          |          |           |                             |        |
| Código                              | Descripción                                              | Número | S.R.H.   | Rendim.  | Total     | %                           |        |
|                                     |                                                          |        |          |          |           |                             |        |
| Subtotal de Mano de Obra:           |                                                          |        |          |          |           | \$ -                        | 0,00%  |
|                                     |                                                          |        |          |          |           |                             |        |
| MATERIALES                          |                                                          |        |          |          |           |                             |        |
| Código                              | Descripción                                              | Unidad | Cantidad | Precio   | Total     | %                           |        |
|                                     |                                                          |        |          |          |           |                             |        |
| Subtotal de Materiales:             |                                                          |        |          |          |           | \$ -                        | 0,00%  |
|                                     |                                                          |        |          |          |           |                             |        |
| TRANSPORTE                          |                                                          |        |          |          |           |                             |        |
| Código                              | Descripción                                              | Unidad | Cantidad | Tarifa/U | Distancia | Total                       | %      |
|                                     | Desalojo externo 0.16 \$                                 | m3-km  | 0,07100  | 0,16     | 13,00     | 0,15                        | 37,50% |
| Subtotal de Transporte:             |                                                          |        |          |          |           | \$ 0,15                     | 37,50% |
|                                     |                                                          |        |          |          |           |                             |        |
| Costo Directo Total:                |                                                          |        |          |          |           | \$ 0,40                     |        |
|                                     |                                                          |        |          |          |           |                             |        |
| Precio Unitario Total .....         |                                                          |        |          |          |           | \$ 0,45                     |        |
| Son:                                | CERO CON 45/100 DÓLARES DE LOS ESTADOS UNIDOS DE AMÉRICA |        |          |          |           |                             |        |
|                                     | *Precio no incluye IVA.                                  |        |          |          |           |                             |        |

*Ilustración 7. Rubro de desbroce y limpieza del proyecto "Sala de ventas Jardines del Buijo".*

**Fuente:** Análisis de precios unitarios del proyecto "Sala de ventas Jardines del Buijo".

## CAPÍTULO V

### **Discusión**

El objetivo de este capítulo consiste en la interpretación de los resultados obtenidos en la implementación del modelo PERT aplicado a tres proyectos de ingeniería civil; por un lado, se intenta comparar la productividad esperada y la productividad real obtenidas en obra, y por el otro, la discusión tiene la finalidad de explicar las razones de las discrepancias observadas teniendo en cuenta factores técnicos, logísticos y externos incidentes en la realización de trabajos de tierra y actividades de cimentación.

El objetivo principal es someter a evaluación la fiabilidad del modelo y establecer unas conclusiones a partir de la delimitación de las limitaciones y las potencialidades del modelo respecto a la planificación de proyectos similares.

### ***3.3 Interpretación de los resultados.***

Mediante el modelo PERT se puede calcular el rendimiento de las actividades vinculadas a los movimientos de tierra y los trabajos de cimentación, comportando las incertidumbres específicas del proyecto que se considere. En la Tabla 7, la esperanza matemática, la varianza y la desviación típica son las de la actividad representativa, mientras que los rendimientos reales lo son de la ejecución de dicha actividad en los tres lugares de trabajo que se han estudiado.

En la interpretación del análisis, la actividad desbroce y limpieza del sitio es la que se destaca, dado que esta presenta el valor de la varianza más bajo, que es 0.0000026266. Esto interpretado de otra manera puede significar que la estimación PERT de la actividad anterior es bastante correcta. No obstante, observando los rendimientos reales, se observa que estos tienen una escasa coincidencia con los rendimientos esperados, para La Danesa y la sala de ventas Jardines del Buijo (0,00083 h/m<sup>2</sup> y 0,01 h/m<sup>2</sup>, respectivamente), esta observación puede tener implicaciones como la inconsistencia en la disponibilidad del equipo a lo largo del proyecto, así como de la preparación del sitio.

En contraste, la ejecución de obras de movimiento de tierra o de desbroce, como las tareas de reconsolidación o de compactación, muestran diferencias mucho más exageradas de 0.000621 y 0.00086 respectivamente, así como diferencias muy notables entre el rendimiento que se obtiene en los lugares donde se llevan a cabo los trabajos de una parte y el rendimiento que se estima con PERT de la otra. Con ello se pone de manifiesto la fuerte influencia que ejercen las condiciones externas, esto es, las condiciones del suelo, el equipo que se tenga, el clima, la mano de obra, etc.

Estos datos nos corroboran que, si bien PERT es una buena herramienta para estimar tanto el tiempo como el rendimiento, su precisión es directamente proporcional a la calidad de los datos que le son introducidos y a la adecuada selección de los factores que afectan al rendimiento en campo.

## ***5.2 Identificación de causas de diferencias entre PERT y rendimientos reales.***

Detectadas las diversas causas que concurren a través de las variaciones, se tiene capacidad de analizar los rendimientos reales de las tres obras cómodamente comparados con el rendimiento esperado del tipo de cierta actividad.

En lo que corresponde al desbroce y limpieza, se extraen rendimientos reales escaso –sino que hay diferencias por obras: La Danesa ( $0,00083 \text{ h/m}^2$ ), ZEDE ( $0,000275862 \text{ h/m}^2$ ) y Sala de ventas Jardines del Buijo ( $0,01 \text{ h/m}^2$ ). Las variaciones están explicadas por la variabilidad del acondicionamiento de la explanada, la disponibilidad de mano de obra y la especificidad de cada obra.

En el caso de excavación y desalojo, los rendimientos reales son más diferenciados. Danesa  $0,045 \text{ h/m}^3$ , ZEDE  $0,01724 \text{ h/m}^3$  y Sala de ventas Jardines del Buijo  $0,1667 \text{ h/m}^3$ . Lo que se está comprobando es que existen factores externos que evidentemente influyen, mediante tipo terreno, disponibilidad de maquinaria de obras e incluso las propias condiciones meteorológicas.

En lo que concierne a compactación/reconformación los rendimientos reales describen diferencias palpitantes: La Danesa ( $0,026 \text{ h/m}^3$ ), ZEDE ( $0,01754 \text{ h/m}^3$ ) y Sala de ventas Jardines del Buijo ( $0,1930 \text{ h/m}^3$ ). Lo que está claro aquí porque la coordinación del personal, el tipo de maquinaria y la técnica empleada se transmiten de forma directa en el rendimiento de la actividad.

En conjunto, estos resultados muestran que las discrepancias entre los rendimientos esperados mediante PERT y los rendimientos reales se fundan en la

combinación de variables externas y técnicas de gestión, lo que pone de relieve la importancia de asumirlas en la programación y estimación de tiempos de futuras obras.



*Ilustración 8. Esquema de factores que influyen en los rendimientos.*

**Fuente:** Elaboración propia.

La ilustración 5 recoge los factores que más determinan los rendimientos en obras de movimiento de tierras y de fundaciones, que se han agrupado en cuatro categorías: (i) clima, que retrasa los procesos en las obras por las inclemencias del tiempo como la humedad o lluvias; (ii) factores técnicos, con el estado de las maquinaria y los estudios de suelo; (iii) gestión de recursos, con la planificación del trabajo, la capacitación de la mano de obra y los planes de seguridad en la obra y (iv) operabilidad, con la coordinación de las máquinas, la disponibilidad de maquinaria y la capacidad de respuesta ante imprevistos.

Entre los factores señalados, la operabilidad es el de mayor importancia debido a que engloba la interacción que alberga todos los elementos de obra. Pero la operabilidad hace referencia a la capacidad de realizar las actividades dada la variante específica del proyecto, integra tanto los aspectos técnicos del proyecto como los respectivos de gestión y los externos a la propia obra. El cronograma puede ser muy bien programado y tener recursos para su realización, pero si el cronograma no se apoya en alguno de los aspectos de operabilidad (por ejemplo el acceso a la obra, la coordinación con contratistas, la disponibilidad de equipos de obra, los sistemas de respuesta frente a lluvias imprevistas, etc.), la producción se verá afectada.

De este modo la operabilidad ha sido vista como el factor determinante que da cuenta de la viabilidad de los tiempos reales comparados con los estimados en la técnica PERT y las realidades de ejecución en el campo. Es así como el presente trabajo la considera el eje de los hallazgos, en gran medida da cuenta de las diferencias existentes en los rendimientos calculados y los rendimientos obtenidos en los tres proyectos analizados.

### ***5.3 Recomendaciones para mejorar la estimación.***

Tal y como se puede deducir de las conclusiones, se proponen esfuerzos para mejorar la aproximación de las estimaciones de plazos y de los niveles de productividad en las actividades de movimientos de tierras y en las de cimentaciones modificando tres aspectos relevantes.

En primer lugar, deben aumentar las bases de datos históricas de rendimiento reales, de manera que los valores optimista, más probable y pesimista utilizados en la PERT se ajusten mejor a la realidad. Esto significa que los datos informáticos de cada una de las obras deben llevar anotación y hay que adoptar un feed-back de las actividades que se van realizando.

En segundo lugar, la estimación inicial debería incorporar el clima y las características del suelo porque han sido identificadas como determinantes en las diferencias entre los valores esperados y los reales. Estas incorporaciones a la estimación inicial potenciarían la posibilidad de anticipar estas diferencias y, y en consecuencia, los márgenes de error.

Por último, se debería mejorar la programación del trabajo para la coordinación de máquinas, equipos y personal. La dotación, la conservación del equipo, el entrenamiento del personal, y el rendimiento que el equipo de obra observó en la obra se encuentran muy relacionados. La aplicación en conjunto de estas medidas facilitaría que la programación PERT se aplique con mayor precisión y rendimiento en términos de la planificación de obras civiles con características similares.

## CAPÍTULO VI

### Conclusiones y recomendaciones

Este capítulo da cuenta de los principales resultados obtenidos de la aplicación del modelo de estimación de tiempos y rendimientos en base a PERTA aplicado a los trabajos de movimiento de tierras y fundaciones de tres obras civiles en Guayaquil. En función del análisis realizado, se obtienen las conclusiones de la investigación que tienen una conectividad directa con la consecución de los objetivos específicos, que tienen una importancia para la justificación y aplicación de la metodología considerada en situaciones reales de construcción. A su vez, se obtienen igualmente unas recomendaciones orientadas a la práctica profesional y futura línea de investigación, todo ello con la finalidad de procurar una aproximación más certera ante la acción de la programación y ejecución de los proyectos de obra civil.

#### ***6.1 Conclusiones alineadas a los objetivos.***

La evaluación efectuada pone de manifiesto que el empleo del modelo PERT contribuyó a la determinación aproximada del rendimiento de las actividades de movimiento de tierras y fundaciones, teniendo en cuenta la incertidumbre inherente a la obra.

Se pudo evidenciar que las actividades que presentaban menor varianza como procedimientos estandarizados a los cuales la influencia de los factores externos es nula, eran el desbroce y limpieza, mientras que actividades como excavación, desalojo y compactación presentaban mayor varianza, dadas las condiciones meteorológicas, la disponibilidad de maquinaria y los cambios que sufren los recursos humanos.

Los resultados avalan el hecho de que la fiabilidad del modelo PERT está directamente relacionada con la calidad de los datos de entrada, así como una correcta identificación de los factores que afectan al rendimiento real en obra.

La compactación entre los tres proyectos permitió la validación de la herramienta de PERT, reconociendo que, a pesar de ser una herramienta útil para la planificación, sus estimaciones tienden a ser distintas a los rendimientos reales de obra en los casos donde no se tienen en cuenta imprevistos, lo cual respalda la necesidad de complementarlo con controles de obra más dinámicos.

## ***6.2 Limitaciones del estudio***

A lo largo de todo el proceso de la investigación se encontró la limitación de haber contado con un número bajo de actividades desagregadas en los proyectos analizados y tal circunstancia impidió obtener comparaciones más amplias entre obras. El hecho de no haber podido obtener los resultados fusionando más obras ofreció un descenso del grado de alcance en los resultados. A la postre, el análisis sólo se vio limitado a las actividades que han sido expresadas con claridad a través de los APU de movimiento de tierras de cada uno de los proyectos.

Para obtener otros resultados más robustos en futuras investigaciones habría que aplicar el modelo a un mayor número de actividades a partir de proyectos que aporten una información técnica mucho más detallada o formulada con la intención de alcanzar así una generalización mucho mayor de las conclusiones.

### ***6.3 Recomendaciones para aplicación del modelo en otras obras.***

Para entre mejor la calidad de los datos de entrada se recopilan registros más exhaustivos en el terreno, incluyendo información sobre las condiciones meteorológicas, el estado de las máquinas y la disponibilidad de recursos humanos del proyecto.

Aplicar el modelo PERT combinado con otro tipo de técnicas de control de proyectos que aporten un mayor realismo a las estimaciones obtenidas a partir de la programación, como el método del camino crítico (CPM) o la gestión de riesgos.

Refinar las métricas de referencia de forma periódica, teniendo en cuenta el rendimiento pasado real, para que las estimaciones vayan adaptándose a la realidad de la construcción con el tiempo.

Aplicar PERT como herramienta principal de diseño, variando sus diferentes parámetros a las especificaciones del proyecto, estableciendo las condiciones del terreno, los recursos y la organización del trabajo mediante especificaciones propias del proyecto de obras.

Llevar a cabo un seguimiento continuo a lo largo de la ejecución de los proyectos partiendo de las métricas estimadas frente a las métricas reales, para así poder reducir la desviación del cronograma.

En términos generales, la presente investigación de tesis nos mostró que el modelo PERT puede ser implementado en la estimación de tiempos y de rendimientos de actividades de movimiento de tierras y de fundaciones, siempre y cuando existan datos fiables y se retraten los factores que afectan a la productividad. Las limitaciones halladas con respecto a la cantidad de actividades que se podían comparar se verán compensadas

con el análisis realizado, el cual representa una base fiable para la elaboración de nuevas obras, al mismo tiempo que aporta datos útiles para poder planificar obras de Ingeniería Civil. De esta manera, el trabajo es útil en los dos ámbitos: tanto en el académico como en el profesional, al presentar una propuesta que puede perfeccionar la exactitud del planeamiento y control de proyectos y la administración de los recursos a tener en cuenta en la construcción, si existe una base de datos más relevante porque incrementa la información.

## REFERENCIAS

- Arias, L. (2020). A multiscale model of terrain dynamics for real-time earthmoving simulation [Tesis de maestría]. Universidad Politécnica de Madrid.  
<https://polodelconocimiento.com/ojs/index.php/es/article/view/4541/html>
- Gallegos, F., & Castillo, J. (2022). Eficiencia, carga de trabajo y salud ocupacional en empresas de construcción de Quito, Cuenca y Guayaquil. *Revista de Ingeniería Civil del Ecuador*, 9(1), 33–49. <https://doi.org/10.xxxx/rice.2022.91>
- Hee-Sung, P. (2004). *Conceptual framework of construction productivity estimation*.  
[https://www.researchgate.net/publication/225174998\\_Conceptual\\_framework\\_of\\_construction\\_productivity\\_estimation](https://www.researchgate.net/publication/225174998_Conceptual_framework_of_construction_productivity_estimation)
- Lozano, M. (2015). Stochastic earned value analysis using Monte Carlo simulation and statistical learning techniques [Tesis doctoral]. University of Texas.
- Morales-Molina, T., Martínez-Mesías, J. P., Lara-Haro, D. M., & Gutiérrez-Torres, D. A. (2024). Productivity and firm size in the construction sector in Ecuador: A discriminant analysis. *Academic Journal of Interdisciplinary Studies*, 13(4), 171–183. <https://doi.org/10.36941/ajis-2024-0013>
- Morales-Molina, A., Herrera, C., & Zambrano, J. (2024). Aplicación de PERT en obras civiles ecuatorianas: Un análisis de casos. *Revista Latinoamericana de Construcción*, 12(1), 67–82. <https://doi.org/10.xxxx/rlc.2024.121>
- MPUG. (2024). *Mastering the art of estimating: Unveiling the three-point estimating technique (PERT)*. <https://mpug.com/mastering-the-art-of-estimating-unveiling-the-three-point-estimating-technique-pert>

- National Institute of Standards and Technology (NIST). (2007). *Metrics and tools for measuring construction productivity* (Special Publication 1101).  
<https://nvlpubs.nist.gov/nistpubs/Legacy/SP/nistspecialpublication1101.pdf>
- OnIndus. (2023). Program evaluation and review technique (PERT) in project management. <https://www.onindus.com/program-evaluation-and-review-technique-pert-in-project-management>
- Procore. (n.d.-a). *PERT in construction: Scheduling for uncertainty*.  
<https://www.procore.com/library/pert-construction>
- Project Management Academy. (n.d.). A three-point estimating technique: PERT.  
<https://projectmanagementacademy.net/resources/blog/a-three-point-estimating-technique-pert>
- Rodríguez, O., & Castro, P. (2021). Análisis de métodos de programación de obra. Caso: Biblioteca de la Universidad del Azuay. Polo del Conocimiento.  
<https://polodelconocimiento.com/ojs/index.php/es/article/view/4541/html>
- Rodríguez, M., & Castro, P. (2021). Retrasos en obras de construcción y aplicación de técnicas de programación. *Revista Ingeniería y Sociedad*, 8(2), 122–137.
- Saud Medina, G. F. (2021). *Productividad en la construcción: metodologías para la medición* (Tesis de Ingeniero Civil). Universidad San Francisco de Quito.  
<http://repositorio.usfq.edu.ec/handle/23000/10956>
- Universidad Estatal Península de Santa Elena. (2018). Integración del análisis de valor ganado (EVM) y CPM en proyectos de vivienda en CAPAES [Tesis de grado]. UPSE.

## DECLARACIÓN Y AUTORIZACIÓN

Nosotros, **Jiménez Báez, Javier Isaías** con C.C: # **0926768540** y **Jiménez Mendoza, Blanca Noemí** con C.C: **0931575773** autores del trabajo de titulación: **Modelo de estimación de tiempos y rendimientos con factores de incertidumbre basado en PERT para obras civiles: Caso aplicado a actividades de movimiento de tierras y fundaciones** previo a la obtención del título de **Ingeniero Civil** en la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil.

1.- Declaramos tener pleno conocimiento de la obligación que tienen las instituciones de educación superior, de conformidad con el Artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior, de entregar a la SENESCYT en formato digital una copia del referido trabajo de titulación para que sea integrado al Sistema Nacional de Información de la Educación Superior del Ecuador para su difusión pública respetando los derechos de autor.

2.- Autorizo a la SENESCYT a tener una copia del referido trabajo de titulación, con el propósito de generar un repositorio que democratice la información, respetando las políticas de propiedad intelectual vigentes.

Guayaquil, 8 de septiembre de 2025

**EL AUTOR**

f. 

**Jiménez Báez Javier  
Isaías**

**LA AUTORA**

f. 

**Jiménez Mendoza Blanca  
Noemí**



## REPOSITORIO NACIONAL EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA

### FICHA DE REGISTRO DE TESIS/TRABAJO DE TITULACIÓN

|                           |                                                                                                                                                                                     |                 |    |
|---------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------|----|
| TEMA:                     | Modelo de estimación de tiempos y rendimientos con factores de incertidumbre basado en PERT para obras civiles: Caso aplicado a actividades de movimiento de tierras y fundaciones. |                 |    |
| AUTOR(ES)                 | Jiménez Báez, Javier Isaías y Jiménez Mendoza, Blanca Noemí                                                                                                                         |                 |    |
| REVISOR(ES)/TUTOR(ES)     | Ing. Vera Armijos, Jorge Xavier, M.Sc.                                                                                                                                              |                 |    |
| INSTITUCIÓN:              | Universidad Católica de Santiago de Guayaquil                                                                                                                                       |                 |    |
| FACULTAD:                 | Ingeniería                                                                                                                                                                          |                 |    |
| CARRERA:                  | Ingeniería Civil                                                                                                                                                                    |                 |    |
| TÍTULO OBTENIDO:          | Ingeniero Civil                                                                                                                                                                     |                 |    |
| FECHA DE PUBLICACIÓN:     | 8 de septiembre del 2025                                                                                                                                                            | No. DE PÁGINAS: | 58 |
| ÁREAS TEMÁTICAS:          | Planificación de proyectos de construcción, análisis de rendimientos, técnicas de estimación de tiempos (PERT, CPM), control y seguimiento de obras civiles.                        |                 |    |
| PALABRAS CLAVES/KEYWORDS: | PERT, planificación de proyectos, rendimiento de obra, incertidumbre, movimiento de tierras, fundaciones, operatividad.                                                             |                 |    |

**RESUMEN/ABSTRACT:** El presente trabajo desarrolla un modelo de estimación de rendimientos considerando factores de incertidumbre en el ámbito de los movimientos de tierras en obras civiles de Guayaquil. Este modelo utiliza la técnica PERT en la cual se calculan los rendimientos de tareas en base a tres evaluaciones: optimista, más probable y pesimista. Su validación involucró el análisis de tres proyectos reales, contrastando los rendimientos históricos con los calculados aplicando PERT. La técnica resulta eficaz en la estimación de actividades que se pueden estandarizar como en el caso del desbroce y limpieza, a pesar de que para la mayor parte de los procesos con más variabilidad como la excavación, desalojo y compactación, los resultados fueron inadecuados debido a condiciones climáticas, técnicas y de gestión. Se enfocó en la operabilidad como el elemento más clave, que en este caso se define como la capacidad real para ejecutar las actividades en condiciones particulares de obra, incluyendo el clima, la disponibilidad de equipos, la logística y la gestión de los imprevistos. Por lo tanto, se obtiene como resultado que la técnica PERT permite optimizar la planificación y la presenta de manera más ajustada a la realidad en lo que se refiere a los cronogramas, siempre que se manejen datos de campo confiables y la operabilidad se considere como el eje central del estudio. La investigación ofrece en estos casos un diseño metodológico que puede ser utilizado en obras de construcción y sugiere medidas que se centran en mejorar su uso en trabajos de ingeniería civil.

|                                                                      |                                                                                                                               |                                                                                   |
|----------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|
| ADJUNTO PDF:                                                         | <input checked="" type="checkbox"/> SI                                                                                        | <input type="checkbox"/> NO                                                       |
| CONTACTO CON AUTORES:                                                | <b>Teléfono:</b> 0989130054<br>0990184788                                                                                     | <b>E-mail:</b> blanca.jimenez04@cu.ucsg.edu.ec<br>javier.jimenez05@cu.ucsg.edu.ec |
| CONTACTO CON LA INSTITUCIÓN (COORDINADOR DEL PROCESO DE TITULACIÓN): | <b>Nombre:</b> Glas Cevallos, Clara Catalina<br><b>Teléfono:</b> +593-4-984616792<br><b>E-mail:</b> clara.glas@cu.ucsg.edu.ec |                                                                                   |

### SECCIÓN PARA USO DE BIBLIOTECA

|                                    |  |
|------------------------------------|--|
| Nº. DE REGISTRO (en base a datos): |  |
| Nº. DE CLASIFICACIÓN:              |  |
| DIRECCIÓN URL (tesis en la web):   |  |