

**UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA - SEDE VIÑA DEL MAR**

**OPTIMIZACIÓN DEL PROCESO DE GESTIÓN EN PROYECTOS DE FORTIFICACIÓN DE  
TERRENOS**

Trabajo de Titulación para optar al Título Profesional de

**INGENIERO DE EJECUCIÓN EN GESTIÓN INDUSTRIAL**

Alumno: Santiago Jesús Olivares Duque

Profesor guía: Sr. Cristian Pavez



## CONSTANCIA DE VALIDACIÓN Y CONFIDENCIALIDAD DE MONOGRAFÍA A REPOSITORIO ACADÉMICO

### 1.- IDENTIFICACIÓN DEL TRABAJO ACADÉMICO

Tipo de monografía (marcar una opción): ☒ Memoria o trabajo de título ☐ Tesis de Postgrado

Título del trabajo: OPTIMIZACIÓN DEL PROCESO DE GESTIÓN EN PROYECTOS DE FORTIFICACIÓN DE TERRENOS

Nombre del candidato(a): Santiago Jesús Olivares Duque.

Carrera / Grado: Ingeniería (E) en Gestión Industrial

Campus: Sede Viña del Mar. Departamento: Electrotecnia e Informática.

### 2.- VALIDACIÓN DEL PROFESOR GUÍA/DIRECTOR DE TESIS

Yo, **CRISTIAN PAVEZ BARRIOS**, en mi calidad de profesor(a) guía/director(a) del trabajo académico mencionado anteriormente **DEJO CONSTANCIA** que:

- He revisado esta versión del documento y corresponde a la versión final aprobada del trabajo.
- El trabajo cumple con los requisitos académicos y de formato establecidos por la institución.

### 3.- EVALUACIÓN DE CONFIDENCIALIDAD POR PROPIEDAD INDUSTRIAL (marcar una opción)

☒ El trabajo **NO** contiene información que amerite confidencialidad y puede ser publicado de inmediato en repositorio con acceso abierto.

☐ El trabajo **CONTIENE** información con potenciales implicancias de propiedad industrial o intelectual y requiere un periodo de confidencialidad (**embargo**) por (marcar una opción):

☐ 6 meses ☐ 12 meses ☐ 2 años ☐ 3 años ☐ 5 años ☐ 10 años

Fundamentación de la necesidad de confidencialidad (obligatorio si se solicita embargo):

---

---

---

### 4.- FIRMAS

Profesor(a) guía o director(a) de memoria o tesis:

Fecha: 29/07/2026

Firma:

Estudiante o Candidato(a):

Fecha: 29/07/2026

Firma:

Este formulario debe ser insertado como página 2 de la memoria o tesis, completado y firmado por estudiante y profesor(a) antes de la entrega en portal PRISMA de Biblioteca USM.

## RESUMEN

**KEYWORDS:** PRODUCTIVIDAD – LEAN CONSTRUCTION – OEE – VALOR GANADO – CONSTRUCCIÓN

El presente trabajo, titulado “Optimización del Proceso de Gestión en Proyectos de Fortificación de Terrenos”, tiene como objetivo analizar cómo se gestionan actualmente este tipo de proyectos y evaluar de qué manera es posible mejorar su productividad. Para ello, se toma como caso de estudio el proyecto “Edificio Torre de Control – AVO II”, ejecutado por la empresa Pilotes Terratest S.A., donde se llevaron a cabo trabajos de excavación y fortificación en un entorno urbano que presentó diversas restricciones operacionales.

En proyectos de esta naturaleza, la coordinación entre el equipo de terreno, la oficina técnica y el mandante resulta fundamental para asegurar el avance de la obra. Sin embargo, en muchos casos el control del proyecto se basa principalmente en reportes administrativos y reuniones de coordinación, lo que dificulta tener una visión clara de la productividad real y detectar oportunamente las causas de retrasos o tiempos improductivos. Frente a esta situación, el presente estudio propone la incorporación de herramientas de gestión como Lean Construction, el método de Valor Ganado (EVM) y el indicador de eficiencia OEE, con el propósito de mejorar el seguimiento del desempeño del proyecto y apoyar la toma de decisiones durante su ejecución.

El Capítulo 1, “Diagnóstico”, presenta el contexto general del proyecto y describe la forma en que actualmente se gestionan las actividades de excavación y fortificación, identificando las principales dificultades relacionadas con el control de la productividad y el flujo de información entre los distintos actores del proyecto.

El Capítulo 2, “Análisis de prefactibilidad de mercado”, aborda el contexto del sector de la construcción y la creciente necesidad de incorporar herramientas que permitan mejorar la gestión y el control en proyectos de infraestructura.

El Capítulo 3, “Análisis de prefactibilidad técnica”, describe el proceso constructivo asociado a las obras de excavación, instalación de anclajes y fortificación del terreno, identificando los recursos, procesos y variables que influyen directamente en el desempeño productivo del proyecto.

El Capítulo 4, “Aplicación del sistema y análisis de resultados”, presenta el análisis de la productividad real del proyecto mediante distintos indicadores de desempeño, evaluando el impacto que tienen los tiempos improductivos tanto en el avance como en los costos de la obra.

Finalmente, el Capítulo 5, “Propuesta de mejora y validación del modelo”, plantea un sistema de gestión basado en indicadores que busca mejorar el control de la productividad en obra y apoyar la toma de decisiones para optimizar la planificación y el uso de recursos en proyectos de características similares.

## ÍNDICES DE CONTENIDO

|                                                                                        |           |
|----------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>INTRODUCCIÓN .....</b>                                                              | <b>5</b>  |
| <b>CAPITULO 1: DIAGNOSTICO .....</b>                                                   | <b>6</b>  |
| <b>1.1 CONTEXTO Y ANTECEDENTES DEL PROYECTO.....</b>                                   | <b>8</b>  |
| 1.1.1 Contexto General y de Desarrollo .....                                           | 8         |
| 1.1.2 Diagnóstico Cualitativo de la Gestión .....                                      | 8         |
| <b>1.2 OBJETIVOS DEL PROYECTO.....</b>                                                 | <b>9</b>  |
| 1.2.1 Objetivo General .....                                                           | 9         |
| 1.2.2 Objetivos Específicos .....                                                      | 9         |
| 1.2.2. Definición de situación sin proyecto.....                                       | 10        |
| 1.2.3. Definición de situación con proyecto .....                                      | 10        |
| 1.2.4. Análisis de separabilidad .....                                                 | 12        |
| 1.2.5. Método para medición de beneficios y costos.....                                | 13        |
| 1.2.6. Indicadores.....                                                                | 14        |
| 1.2.7. Criterios de evaluación.....                                                    | 15        |
| 1.2.8. Estructura de evaluación del proyecto .....                                     | 16        |
| <b>CAPÍTULO 2: ANÁLISIS DE PREFACTIBILIDAD DE MERCADO.....</b>                         | <b>18</b> |
| <b>2.1. DEFINICIÓN DEL PRODUCTO O SERVICIO .....</b>                                   | <b>19</b> |
| <b>2.2. Análisis de demanda: Necesidad estratégica de control .....</b>                | <b>19</b> |
| 2.3. Variables determinantes del entorno constructivo .....                            | 20        |
| <b>2.4. Diagnóstico de la oferta y limitaciones actuales .....</b>                     | <b>20</b> |
| <b>2.5. Comportamiento y tendencias del sector .....</b>                               | <b>21</b> |
| <b>2.6. Análisis de Costos de Implementación y Retorno Operativo .....</b>             | <b>21</b> |
| <b>2.7. Variables de Entorno y Logística .....</b>                                     | <b>21</b> |
| <b>CAPÍTULO 3: ANÁLISIS DE PREFACTIBILIDAD TÉCNICA.....</b>                            | <b>23</b> |
| <b>3.1. Descripción general del proyecto .....</b>                                     | <b>24</b> |
| 3.1.1 Alcance técnico del sistema de anclajes temporales .....                         | 25        |
| 3.1.2. Abastecimiento y Logística de Suministros.....                                  | 27        |
| 3.1.3. Gestión de Interfaces: Mandante e Inspección Técnica (ITO).....                 | 27        |
| 3.1.4 Preparación de frentes de trabajo .....                                          | 27        |
| 3.1.5 Ejecución de procesos constructivos .....                                        | 28        |
| 3.1.6 Control, validación y cierre de actividades .....                                | 28        |
| <b>3.2. Mapa del flujo de proceso actual (Situación "Sin Proyecto").....</b>           | <b>29</b> |
| <b>3.3. Recursos y Herramientas para la Gestión .....</b>                              | <b>30</b> |
| <b>3.4. Diagnóstico del Sistema de Control Actual (Situación "Sin Proyecto") .....</b> | <b>31</b> |

|                                                                                                    |           |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>3.5. Sistema propuesto de medición y mejora de la productividad (situación con proyecto) ..</b> | <b>31</b> |
| 3.5.1. Enfoque general del sistema propuesto.....                                                  | 32        |
| 3.5.2. Adaptación del indicador OEE al contexto de la construcción .....                           | 32        |
| 3.5.3. Incorporación de principios de Lean Construction .....                                      | 33        |
| 3.5.4. Integración de herramientas de Earned Value Management .....                                | 33        |
| 3.5.5. Funcionamiento general del sistema propuesto .....                                          | 33        |
| <b>3.6. Definición de indicadores y variables de medición .....</b>                                | <b>34</b> |
| 3.6.1. Criterios para la selección de indicadores .....                                            | 34        |
| 3.6.2. Variables de medición asociadas a los procesos constructivos .....                          | 34        |
| 3.6.3. Indicadores de desempeño productivo.....                                                    | 35        |
| 3.6.4. Relación entre indicadores productivos y gestión del proyecto.....                          | 35        |
| <b>3.7. Evaluación técnica de la implementación del sistema propuesto.....</b>                     | <b>35</b> |
| 3.7.1. Compatibilidad del sistema con los procesos constructivos.....                              | 36        |
| 3.7.2. Factibilidad operativa de la implementación en terreno .....                                | 36        |
| 3.7.3. Impacto del sistema en la gestión productiva del proyecto .....                             | 36        |
| 3.7.4. Limitaciones técnicas y consideraciones para su aplicación .....                            | 37        |
| <b>CAPÍTULO 4: APLICACIÓN DEL SISTEMA Y ANÁLISIS DE RESULTADOS.....</b>                            | <b>38</b> |
| <b>4.1. Análisis de la productividad real en la ejecución de anclajes.....</b>                     | <b>39</b> |
| <b>4.2 Análisis del OEE del proceso de ejecución de anclajes .....</b>                             | <b>41</b> |
| 4.2.1 Definición del OEE adaptado al proceso de anclajes.....                                      | 42        |
| a) Disponibilidad .....                                                                            | 42        |
| b) Rendimiento .....                                                                               | 42        |
| c) Calidad .....                                                                                   | 43        |
| 4.2.2 Interpretación del OEE del proyecto .....                                                    | 43        |
| <b>4.3 Impacto de la productividad real en el plazo del proyecto (EVM – SPI) .....</b>             | <b>44</b> |
| 4.3.1 Evaluación del SPI del proyecto AVO II .....                                                 | 44        |
| 4.3.2 Relación entre el SPI y la productividad real.....                                           | 45        |
| <b>4.4 Impacto económico de los tiempos improductivos .....</b>                                    | <b>46</b> |
| 4.4.1 Identificación de los tiempos improductivos .....                                            | 47        |
| 4.4.2 Valorización económica de los tiempos improductivos.....                                     | 48        |
| 4.4.3 Impacto en el resultado económico del proyecto .....                                         | 51        |
| <b>CAPÍTULO 5: PROPUESTA DE MEJORA Y VALIDACIÓN DEL MODELO .....</b>                               | <b>52</b> |
| <b>5.1 Síntesis de los resultados obtenidos .....</b>                                              | <b>53</b> |
| <b>5.2. Aplicación del modelo: Del registro pasivo a la gestión proactiva .....</b>                | <b>54</b> |
| <b>5.3. Valor proyectado: La mejora potencial del sistema .....</b>                                | <b>54</b> |
| <b>5.4. Replicabilidad: Un modelo para el estándar de Pilotes Terratest .....</b>                  | <b>55</b> |
| <b>5.5. El sistema de control: De la reacción a la predicción.....</b>                             | <b>55</b> |
| 5.5.1. El pulso gerencial: El indicador SPI .....                                                  | 56        |
| 5.5.2 Indicador de causa del atraso: OEE del proceso crítico .....                                 | 56        |
| 5.5.3 Indicador operativo de pérdidas de tiempo: TI%.....                                          | 56        |
| 5.5.4 Indicador económico del atraso .....                                                         | 57        |

|                                                                          |           |
|--------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 5.5.5 Integración del sistema de indicadores.....                        | 57        |
| 5.5.6. Impacto Económico y Evaluación de Beneficios. ....                | 58        |
| 5.5.7. Análisis de resultados: El valor económico del control.....       | 59        |
| <b>5.6. Cierre del modelo: Hacia una gestión de alto desempeño .....</b> | <b>60</b> |
| <b>CONCLUSIONES .....</b>                                                | <b>62</b> |
| <b>BIBLIOGRAFÍA .....</b>                                                | <b>63</b> |

## INDICE DE TABLAS Y FIGURAS

|                                                                                                                       |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 1. Representación conceptual del ciclo de gestión de proyectos.                                                | 10 |
| Figura 2. Antecedentes del contrato original entre Pilotes Terratest S.A. y Gesvial S.A.                              | 26 |
| Figura 3. Cubicación oficial del sistema de anclajes temporales del proyecto.<br>Edificio Torre de Control – AVO II   | 27 |
| Figura 3.1. Diagrama de flujo del proceso productivo actual en la ejecución<br>de anclajes temporales                 | 30 |
| Figura 4. Rendimientos obtenidos versus rendimiento planificado (PO)<br>en el proceso de perforación de anclajes      | 42 |
| Figura 4.2. Matriz de costos reales del proyecto AVO II<br>(Mano de obra y equipos)                                   | 48 |
| Figura 4.3. Registro de bitácora diaria y detenciones operacionales<br>del proceso de anclajes                        | 49 |
| Figura 4.4. Valorización de los tiempos improductivos en la ejecución<br>de anclajes durante el mes de mayo de 2025   | 51 |
| Figura 5.1. Comparación de costos de retraso entre el escenario real y el escenario<br>optimizado del proyecto AVOII. | 60 |

## INTRODUCCIÓN

Pilotes Terratest destaca en el sector de la ingeniería geotécnica en Chile por su capacidad para resolver desafíos complejos en cimentaciones y fortificaciones. El presente trabajo se basa en la experiencia del proyecto “Edificio Torre de Control – AVO II”, una obra urbana que, por su magnitud y la exigencia en sus excavaciones y anclajes, puso a prueba las capacidades operativas bajo condiciones técnicas críticas.

A pesar de la sólida base técnica de la organización, en proyectos de esta escala surgen brechas importantes en la comunicación entre el terreno y la oficina técnica. La falta de indicadores que permitan anticipar problemas, más allá de la simple reacción, suele derivar en retrasos y sobrecostos que afectan directamente la rentabilidad.

Por esta razón, la investigación analiza el caso AVO II para proponer un modelo de gestión basado en *Lean Construction*, Valor Ganado (EVM) y Eficiencia de Equipos (OEE). El objetivo es evolucionar desde un control administrativo tradicional hacia un sistema que utilice los datos reales de la obra para la toma de decisiones estratégicas. De esta manera, se busca no solo el cumplimiento de los contratos, sino optimizar la eficiencia operativa en cada etapa del proceso.

## **CAPITULO 1: DIAGNOSTICO**

El análisis del proyecto permite examinar el modelo de gestión aplicado por Pilotes Terratest en la obra “Edificio Torre de Control – AVO II”. Aunque la empresa posee una sólida trayectoria técnica, se identificaron brechas en la integración de la información y en la trazabilidad de los datos. Esto limita la capacidad de anticipar desviaciones, transformando el control en una actividad más reactiva que preventiva.

Actualmente, la gestión se apoya en reportes manuales y reuniones de coordinación diaria, lo que dificulta la consolidación de indicadores clave. Esta fragmentación de la información impide cuantificar con precisión los tiempos improductivos o identificar las causas raíz de las detenciones, dificultando la comparación entre el avance real y la programación original.

A esto se suman dificultades en el flujo de comunicación entre el terreno, la oficina técnica y el mandante. Estos desfases generan una respuesta lenta ante las restricciones operativas y reducen la eficiencia global, afectando la optimización de los recursos y la mejora continua del proceso.

Ante este escenario, los resultados del diagnóstico confirman la necesidad de evolucionar hacia un modelo de gestión estructurado. La implementación de metodologías como *Lean Construction*, EVM y OEE, adaptadas a las obras civiles, permitiría sustituir las evaluaciones subjetivas por indicadores objetivos, fortaleciendo el control operativo y reduciendo las pérdidas en el proyecto.

## 1.1 CONTEXTO Y ANTECEDENTES DEL PROYECTO

### 1.1.1 Contexto General y de Desarrollo

El Proyecto “Edificio Torre de Control – AVO II” es una obra de infraestructura estratégica ejecutada en el marco de la concesión vial Américo Vespucio Oriente Tramo II, en la Región Metropolitana de Santiago. Este edificio alberga las dependencias técnicas destinadas al monitoreo y operación del sistema de túneles, convirtiéndose en un componente crítico para la puesta en marcha de la autopista.

La obra, adjudicada a **Pilotes Terratest S.A.**, consistió en la ejecución de excavaciones masivas y sistemas de contención mediante anclajes postensados, pernos R32N y fortificación estructural. El desarrollo del proyecto se dio en un entorno urbano consolidado, caracterizado por:

- **Restricciones Operacionales:** Limitado espacio de maniobra, interferencias con redes de servicios activos y edificaciones colindantes.
- **Complejidad Logística:** Alta densidad de tráfico vehicular y necesidad de coordinar el movimiento de equipos pesados en zonas de circulación constante.
- **Entorno Multiactor:** Una estructura de comunicación formal que involucró al mandante (Servicios AVO II), el contratista principal (Terratest), el proyectista geotécnico (Musante Ingenieros) e inspecciones técnicas.

### 1.1.2 Diagnóstico Cualitativo de la Gestión

A pesar del respaldo técnico de la empresa, la ejecución en AVO II evidenció debilidades estructurales en los procesos de gestión. La productividad se vio influenciada por factores críticos que no fueron gestionados de forma proactiva:

1. **Dependencia de Aprobaciones:** El flujo de información entre la oficina técnica, el mandante y terreno presentó cuellos de botella que generaron tiempos de espera (Mudas).
2. **Interferencias Operativas:** La coexistencia con otros contratistas y las restricciones espaciales fragmentaron la secuencia constructiva.
3. **Gestión Reactiva:** La comunicación se basó en reportes manuales y comunicaciones contractuales (cartas, informes de avance), lo que dificultó la toma de decisiones basada en datos en tiempo real.

Esta falta de un sistema integrado de medición impidió anticipar desviaciones, cuantificar pérdidas económicas por retrasos y corregir ineficiencias de manera temprana, transformando retos técnicos en problemas de gestión operativa.



**Figura 1. Representación conceptual del ciclo de gestión de proyectos.**

*Fuente: Adaptación propia basada en modelos estándar de Project Management.*

## 1.2 OBJETIVOS DEL PROYECTO

### 1.2.1 Objetivo General

Optimizar la gestión del proyecto “Edificio Torre de Control – AVO II” a través de un modelo de control que integre *Lean Construction*, Valor Ganado (EVM) y Eficiencia Global de Equipos (OEE). Con esto, se busca maximizar la eficiencia operativa de Pilotes Terratest S.A. y reducir significativamente las pérdidas derivadas de tiempos improductivos.

### 1.2.2 Objetivos Específicos

- **Analizar** el proceso de gestión actual, identificando falencias en la planificación y la trazabilidad de la información técnica entre terreno y oficina técnica.

- **Evaluar** el desempeño productivo real de las etapas de excavación y entibación mediante indicadores de rendimiento y cumplimiento de programación.
- **Desarrollar** un sistema de métricas objetivas que integre Lean, EVM y OEE para visibilizar el impacto de las restricciones operacionales en el resultado económico.
- **Diseñar** una propuesta metodológica de optimización que alinee la planificación diaria con los objetivos contractuales del proyecto.
- **Validar** la efectividad de la metodología propuesta mediante la comparación de los resultados obtenidos frente a la situación inicial, asegurando su replicabilidad en proyectos futuros.

### 1.2.2. Definición de situación sin proyecto

La situación base, o escenario sin proyecto, representa el modelo de gestión actual donde la productividad y el control de obra carecen de un sistema de medición estandarizado. En esta etapa, la administración se apoya principalmente en la experiencia acumulada del equipo, la coordinación diaria y la supervisión operativa, pero sin el respaldo de indicadores comparativos consolidados.

Bajo este esquema, la planificación se gestiona mediante cartas Gantt y reuniones de coordinación que, aunque necesarias, no integran métricas formales de productividad. Esto provoca que los tiempos improductivos, las detenciones y los retrasos no se cuantifiquen de manera sistemática, lo que dificulta la identificación precisa de sus causas raíz y responsables. Como resultado, las decisiones operativas tienden a ser reactivas, enfocándose en resolver contingencias a medida que aparecen en lugar de apoyarse en información predictiva.

Asimismo, la comunicación entre la oficina técnica, el mandante y el terreno queda condicionada al flujo documental y a la disponibilidad de los supervisores, generando desfases críticos en la toma de decisiones. Al no existir un sistema que traduzca las desviaciones de rendimiento en acciones correctivas estructuradas, la eficiencia del proyecto termina dependiendo casi exclusivamente de la capacidad individual del personal en obra. En definitiva, la situación base carece de un control integrado que permita medir, anticipar y corregir las brechas productivas en tiempo real.

### 1.2.3. Definición de situación con proyecto

La situación con proyecto corresponde al escenario en el cual se implementa un sistema de gestión productiva estructurado, basado en el levantamiento, análisis y control sistemático de datos provenientes de la operación en terreno. En este contexto, la ejecución no solo se supervisa, sino que se mide y evalúa de manera continua, integrando herramientas de planificación, control y mejora.

Con la incorporación de la metodología, el proceso operativo considera:

- Registro diario de avance y tiempos improductivos, mediante partes diarios y reportes de terreno.
- Medición del rendimiento real de actividades críticas, como perforación, instalación de anclajes, excavación y proyección de lechada.
- Comparación permanente entre rendimiento programado y rendimiento real, identificando brechas y tendencias.
- Análisis de causas, diferenciando detenciones atribuibles a condiciones operativas, decisiones administrativas, factores externos o falta de coordinación entre áreas.

Implementación de indicadores de eficiencia, como:

- Productividad de equipos
- Tasa de utilización del recurso humano
- OEE adaptado a obra
- Curva de Valor Ganado (EVM)

Asimismo, la toma de decisiones deja de ser reactiva y se transforma en proactiva, basada en información verificable y trazable, lo cual permite anticipar restricciones, ajustar secuencias de trabajo y optimizar la asignación de recursos.

**Bajo la situación con proyecto:**

| Aspecto                              | Situación con Proyecto                                                |
|--------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------|
| Toma de decisiones                   | Basada en datos e indicadores de desempeño.                           |
| Control de avances                   | Seguimiento sistemático con comparación contra lo planificado.        |
| Productividad                        | Evaluada mediante métricas objetivas, con capacidad de corrección.    |
| Coordinación terreno–oficina técnica | Flujo estructurado, con retroalimentación constante.                  |
| Gestión de restricciones             | Identificadas, priorizadas y tratadas antes de afectar la producción. |

De esta manera, la situación con proyecto permite mejorar la eficiencia operativa, disminuir pérdidas asociadas a tiempos improductivos y fortalecer la gestión integral del proceso constructivo. Este enfoque sistematizado se alinea con los objetivos de incremento de productividad y control de costos, aportando a la sostenibilidad técnica y económica del proyecto.

#### 1.2.4. Análisis de separabilidad

El análisis de separabilidad permite determinar si las actividades evaluadas dentro del proyecto pueden ser consideradas y analizadas de manera independiente o si, por el contrario, corresponden a procesos interrelacionados que requieren ser estudiados como un sistema integrado.

En el caso del proyecto “Edificio Torre de Control – AVO II”, las principales actividades productivas —excavación masiva, instalación de anclajes postensados, fortificación con malla y proyección de lechada— no pueden ser separadas en etapas aisladas, ya que:

- Cada una depende de la correcta ejecución y avance de la etapa anterior.
- La secuencia constructiva condiciona la disponibilidad de frentes de trabajo.
- La utilización de equipos y cuadrillas especializadas es compartida entre procesos.
- Las restricciones y detenciones en una actividad impactan directamente en las demás.

Por ejemplo, el rendimiento de instalación de anclajes depende de la estabilidad y avance de la excavación, mientras que la fortificación no puede ser ejecutada sin la verificación previa de las capacidades de los anclajes. Esto significa que la eficiencia productiva no se determina por cada actividad de forma aislada, sino por la articulación de todas ellas dentro del ciclo operativo.

Por lo tanto, para efectos del análisis, el proyecto debe ser tratado como un sistema de producción continuo, donde:

| Elemento                | Relación con otras etapas                                  |
|-------------------------|------------------------------------------------------------|
| Excavación masiva       | Habilita frentes de trabajo para anclajes y fortificación. |
| Instalación de anclajes | Condiciona la estabilidad de las fases siguientes.         |

| Elemento                      | Relación con otras etapas                               |
|-------------------------------|---------------------------------------------------------|
| Malla y proyección de lechada | Dependen del avance y verificación estructural previa.  |
| Ensayos y control técnico     | Regulan el ritmo de producción y autorizan continuidad. |

En consecuencia, el estudio de productividad se realiza sobre el conjunto del proceso constructivo, evaluando la secuencia completa y sus interdependencias, en lugar de considerar cada actividad como un sistema independiente. Esto permite obtener una visión más precisa del comportamiento real del proyecto y de las causas que afectan su desempeño global.

#### 1.2.5. Método para medición de beneficios y costos

La medición de beneficios y costos en el presente proyecto se basa en la comparación entre el desempeño productivo real registrado en obra y el desempeño esperado definido en la planificación inicial. Para ello, se consideran indicadores cuantitativos que permitan evaluar la eficiencia del proceso constructivo, la utilización de los recursos y el impacto económico asociado a las variaciones en los rendimientos.

El método contempla las siguientes etapas:

**Levantamiento de información productiva en terreno:**  
Se recopilan datos desde partes diarios, reportes de avance, registros de detenciones operativas y consumo de recursos. Esta información permite identificar los tiempos efectivos de producción y los tiempos improductivos asociados a restricciones, esperas y reprogramaciones.

**Determinación de rendimientos esperados y reales:**  
Los rendimientos proyectados se obtienen a partir de la planificación técnica, fichas de rendimiento y curvas de producción definidas al inicio del proyecto. Los rendimientos reales se calculan con base en las unidades ejecutadas por jornada efectiva de trabajo.

**Medición de costos asociados a variaciones de productividad:**  
Se identifican los costos derivados de:

- Mayor tiempo de utilización de equipos.
- Incremento de horas-hombre.
- Reubicaciones o movimientos adicionales.
- Detenciones no programadas.

Estos costos se comparan con el costo planificado para evaluar el impacto económico.

Evaluación de beneficios derivados de la optimización de la gestión:  
La implementación del sistema de medición permite obtener beneficios tales como:

- Mayor eficiencia en el uso de recursos.
- Disminución de tiempos improductivos.
- Reducción de re-trabajos y reprogramaciones.
- Mejor toma de decisiones con base en indicadores objetivos.

#### **Aplicación de indicadores de análisis:**

Se utilizan herramientas de control productivo tales como:

- Productividad real vs. productividad programada
- OEE adaptado a obra (eficiencia global del proceso)
- Valor Ganado (EVM) para medir desempeño en plazo y costo

Estos indicadores permiten visualizar de manera clara el impacto económico de la gestión productiva, proporcionando una base cuantitativa que justifica y valida las propuestas de mejora desarrolladas en el proyecto.

#### **1.2.6. Indicadores**

Para evaluar el desempeño productivo del proyecto se utilizarán indicadores simples y de interpretación directa, que permitan comparar el rendimiento esperado con el rendimiento real y cuantificar los efectos de las detenciones o restricciones operativas. Estos indicadores se calculan a partir de los registros diarios de avance y uso de recursos.

Los indicadores considerados son los siguientes:

##### **Productividad Real (PR):**

Corresponde a la cantidad de trabajo ejecutado en una jornada efectiva, expresado en unidades físicas (m, m<sup>2</sup>, m<sup>3</sup> o cantidad de anclajes instalados).

$$PR = \frac{\text{Unidades construidas}}{\text{Horas efectivas de trabajo}}$$

**Variación de Rendimiento (VR):**

Permite comparar el rendimiento real con el rendimiento programado o esperado en la planificación inicial.

$$VR = \frac{PR}{\text{Rendimiento esperado}}$$

Un valor menor a 1 indica pérdida de productividad.

**Tiempos Improductivos (TI):**

Corresponde al tiempo en el que los equipos o cuadrillas no están produciendo debido a restricciones, esperas, interferencias, falta de frente de trabajo u otros factores.

$$TI = \text{Horas totales de jornada} - \text{Horas efectivas de producción}$$

Estos indicadores permiten identificar de manera clara:

- Si la producción avanza al ritmo programado.
- Cuando y cuánto se pierde por detenciones o reprogramaciones.
- Qué actividades o recursos requieren ajustes de gestión.

Su utilización permite evaluar objetivamente la eficiencia del proceso de construcción, facilitando la toma de decisiones orientadas a la mejora continua.

### 1.2.7. Criterios de evaluación

Los criterios de evaluación utilizados en este estudio permiten determinar el grado de eficiencia alcanzado en la ejecución del proyecto, considerando tanto el comportamiento productivo en obra como el impacto económico asociado a las variaciones de rendimiento.

La evaluación se desarrolla en dos dimensiones complementarias:

**Evaluación de la productividad:**

Se analiza el desempeño real de las actividades constructivas en relación con lo planificado, utilizando los indicadores definidos previamente.

Se consideran como criterios:

- Cumplimiento del rendimiento esperado.
- Continuidad operacional (presencia o ausencia de detenciones).
- Variabilidad de la producción entre jornadas.

Un resultado favorable corresponde a mantener una productividad real igual o superior al rendimiento programado y con bajos niveles de tiempos improductivos.

#### **Evaluación del impacto económico:**

Se cuantifican los efectos que los niveles de productividad tienen en los costos del proyecto.

Se consideran como criterios:

- Incremento o reducción de horas-hombre respecto a lo presupuestado.
- Variación en horas de uso de equipos y servicios especializados.
- Costos derivados de reprogramaciones o actividades adicionales.

Un resultado favorable corresponde a mantener los costos dentro del rango estimado para la etapa, evitando sobrecostos atribuibles a ineficiencia productiva.

En conjunto, estos criterios permiten evaluar si la gestión implementada:

- Mejora la eficiencia operativa,
- Reduce pérdidas asociadas a tiempos improductivos, y
- Mantiene la ejecución dentro de parámetros de costo aceptables.

La combinación de ambas dimensiones proporciona una visión integral del desempeño del proyecto, asegurando que el análisis no se limite únicamente a la producción física o al costo independiente, sino al equilibrio entre ambas.

#### **1.2.8. Estructura de evaluación del proyecto**

La evaluación se articula en torno al desempeño operativo y financiero de las actividades críticas del proyecto: excavación masiva, entibación, instalación de anclajes y fortificación. Para lograr un análisis riguroso, el estudio organiza la información en etapas secuenciales que permiten medir con precisión las brechas entre la realidad de la obra y la planificación original.

La estructura de evaluación se desglosa en los siguientes componentes:

- **Identificación de procesos críticos:** Se definen las tareas cuyo rendimiento es determinante para la continuidad de la obra y la optimización de los recursos disponibles.
- **Sistematización de datos de terreno:** Se consolidan los registros diarios de producción, tiempos improductivos y consumo de recursos, construyendo una base de datos sólida y verificable.

- **Cálculo de indicadores de desempeño:** Se aplican las métricas de Productividad Real, Variación de Rendimiento y Tiempos Improductivos (detalladas en la sección 1.2.6) para cuantificar la eficiencia y detectar desviaciones.
- **Análisis de brechas de rendimiento:** Se contrastan los resultados reales frente a los proyectados mediante gráficos de tendencia y curvas de avance, lo que permite localizar los momentos exactos de pérdida de productividad.
- **Cuantificación del impacto económico:** Se calculan los costos derivados de las variaciones operativas, integrando el gasto en mano de obra, maquinaria y los sobrecostos por detenciones o reprogramaciones.
- **Propuesta de optimización:** Basándose en los hallazgos anteriores, se plantean estrategias concretas para fortalecer la planificación y el control en futuros proyectos de alta complejidad.

Es importante precisar que, dentro de esta estructura, **el análisis se centrará específicamente en las actividades de perforación e instalación de anclajes**. Esta focalización responde a que ambos procesos constituyen el camino crítico de la fortificación y presentan la mayor variabilidad operativa, por lo que su optimización garantiza un impacto directo en el éxito global del proyecto.

En definitiva, este esquema permite integrar el desempeño técnico con el impacto financiero en un modelo de análisis coherente. El objetivo no es solo documentar lo ocurrido en la obra, sino transformar esos datos en herramientas prácticas de mejora continua para la gestión de Pilotes Terratest.

## **CAPÍTULO 2: ANÁLISIS DE PREFACTIBILIDAD DE MERCADO.**

## 2.1. DEFINICIÓN DEL PRODUCTO O SERVICIO

El servicio propuesto consiste en el diseño e implementación de un modelo integral de gestión productiva, creado específicamente para optimizar la planificación, el control de avances y la toma de decisiones en las obras de excavación y fortificación de Pilotes Terratest S.A. Más que una simple metodología, se presenta como un sistema estructurado de herramientas y procedimientos destinados a transformar los datos de terreno en indicadores de eficiencia operativa.

El servicio se despliega a través de las siguientes etapas clave:

- **Sistematización de la información operativa:** Se basa en la captura y ordenamiento de datos provenientes de partes diarios, reportes técnicos y registros de producción. Esta fase es fundamental para establecer una línea base de gestión y comprender dónde se originan las brechas actuales.
- **Evaluación del desempeño real:** Mediante el uso de métricas como la Productividad Real (PR), la Variación de Rendimiento (VR) y los Tiempos Improductivos (TI), se mide la eficacia de las actividades críticas, contrastándolas directamente con los objetivos programados.
- **Control mediante metodologías avanzadas:** Se integran herramientas de *Lean Construction*, Gestión del Valor Ganado (EVM) y OEE adaptado a la construcción. El fin es generar una visión objetiva de las tendencias de producción, identificando con claridad las fuentes de pérdida y las oportunidades de mejora.
- **Estrategias de optimización:** A partir del análisis, se diseñan propuestas concretas que abarcan desde ajustes en las secuencias operativas y la asignación de recursos, hasta la mejora en los flujos de comunicación entre el terreno y la oficina técnica.

En definitiva, el producto final es un sistema de gestión robusto, diseñado a la medida de la ingeniería geotécnica. Su propósito es dotar a Pilotes Terratest S.A. de una mayor capacidad de respuesta, un control riguroso de la información y, sobre todo, una base sólida para la toma de decisiones estratégicas.

## 2.2. Análisis de demanda: Necesidad estratégica de control

La demanda en este proyecto no responde a una lógica comercial externa, sino a la **necesidad interna** de Pilotes Terratest S.A. por optimizar recursos en obras de alta complejidad. Actualmente, la industria enfrenta una presión crítica por plazos ajustados y

costos crecientes, pero la gestión tradicional sigue siendo reactiva; se limita a verificar el avance físico sin analizar las causas raíz de las desviaciones.

Esta brecha genera "Mudas" (desperdicios) de tiempo y recursos que los métodos convencionales no logran cuantificar. Por ello, la demanda futura apunta hacia la **profesionalización e industrialización**, exigiendo modelos que vinculen productividad, costo y plazo mediante indicadores integrados como OEE y EVM.

### 2.3. Variables determinantes del entorno constructivo

La necesidad de implementar este sistema de medición está condicionada por tres factores críticos del entorno geotécnico:

1. **Complejidad Técnica:** La alta interdependencia entre excavación, perforación y fortificación hace que cualquier desviación mínima en una tarea afecte el camino crítico. A mayor complejidad, más indispensable es un monitoreo en tiempo real.
2. **Riesgo Económico y Contractual:** El alto costo de los equipos especializados y las severas multas por atrasos transforman la productividad en una variable de supervivencia financiera. El modelo propuesto actúa como una herramienta de mitigación de riesgos.
3. **Gestión de Recursos Críticos:** La escasez de mano de obra calificada y el elevado costo horario de la maquinaria especializada exigen maximizar el tiempo efectivo de trabajo, reduciendo al mínimo los "tiempos muertos" o inactivos.

### 2.4. Diagnóstico de la oferta y limitaciones actuales

Actualmente, la "oferta" de soluciones se compone de métodos tradicionales (Cartas Gantt y reportes diarios manuales) y plataformas digitales de reportabilidad. Sin embargo, estas presentan limitaciones críticas para obras geotécnicas:

- **Falta de integración:** Los sistemas de control de avance suelen operar desconectados del análisis de costos y de la detección de causas raíz.
- **Enfoque en el resultado, no en el proceso:** La oferta actual suele mostrar *qué* pasó (se atrasó la obra), pero no explica el *porqué* operativo, dificultando la implementación de acciones correctivas inmediatas.
- **Ausencia de métricas específicas:** No existen indicadores estandarizados en el mercado local que midan la eficiencia de equipos de perforación bajo una lógica de mejora continua.

## 2.5. Comportamiento y tendencias del sector

El mercado de la construcción se encuentra en una fase de transición. Aunque muchas empresas aún gestionan la productividad de forma empírica y basada en la experiencia individual, existe una tendencia irreversible hacia la **gestión basada en datos**.

Las organizaciones líderes están migrando de un control reactivo a uno proactivo. La adopción de este sistema integral responde a esta tendencia, permitiendo a la empresa no solo describir resultados pasados, sino predecir comportamientos futuros y asegurar la rentabilidad en proyectos de gran envergadura.

## 2.6. Análisis de Costos de Implementación y Retorno Operativo

En este modelo, el "precio" se define como la inversión en recursos para su ejecución frente a los beneficios económicos derivados. Al basarse en la integración de metodologías existentes (Lean, EVM, OEE), el sistema no requiere software costoso, sino una reasignación eficiente de los recursos de la oficina técnica.

- **Estructura de Costos:** Se compone principalmente de las horas-hombre dedicadas a la captura y procesamiento de datos en terreno, además de la capacitación del personal operativo. Al ser un sistema de gestión interna, los costos son acotados y fácilmente absorbibles por el presupuesto del proyecto.
- **Relación Costo-Beneficio:** La viabilidad se justifica mediante la reducción de tiempos improductivos. En obras geotécnicas con maquinaria de alto valor, una mejora mínima en la utilización de los equipos compensa rápidamente el costo de operación del sistema de control.
- **Proyección de Escalabilidad:** Una vez validado, el modelo se convierte en un activo de gestión replicable. La proyección futura no es comercial, sino operativa: estandarizar la medición en todos los proyectos de Pilotes Terratest S.A. para generar una base de datos histórica que mejore las licitaciones futuras.

## 2.7. Variables de Entorno y Logística

El desempeño productivo no es un valor aislado; está condicionado por factores externos que deben ser integrados en la medición para que esta sea realista:

- **Entorno Urbano y Geotécnico:** Las restricciones de espacio, interferencias con servicios públicos y las características del suelo (presencia de agua o roca) son las principales fuentes de variabilidad. El sistema de medición propuesto permite aislar

estos factores para identificar si un bajo rendimiento se debe a una ineficiencia operativa o a una condición externa inevitable.

- **Logística de Recursos:** La continuidad de la perforación y el anclaje depende directamente de la accesibilidad y el flujo de suministros. Cualquier desfase logístico en el suministro de lechada o acero genera "tiempos muertos" que el sistema debe cuantificar para ajustar la planificación y mejorar la coordinación con proveedores.

### **CAPÍTULO 3: ANÁLISIS DE PREFACTIBILIDAD TÉCNICA.**

Este capítulo evalúa la viabilidad operativa de implementar un sistema integral de medición y mejora de la productividad, tomando como base un proyecto geotécnico real. el análisis busca determinar si el modelo propuesto es técnicamente aplicable bajo las condiciones actuales de ejecución, considerando tanto la naturaleza de los procesos constructivos como la disponibilidad de recursos en obra.

A diferencia del análisis de mercado, este apartado profundiza en el contexto operativo, examinando de qué manera se gestionan hoy los procesos productivos y analizando la factibilidad de integrar herramientas de medición que optimicen el desempeño técnico. para asegurar un diagnóstico realista, el estudio utiliza datos directos de terreno, validando la capacidad del sistema para capturar la realidad de la obra sin alterar su dinámica cotidiana y garantizando el manejo confidencial de la información sensible del proyecto.

### **3.1. Descripción general del proyecto**

El proyecto seleccionado para este análisis es una obra de infraestructura de alta complejidad geotécnica, emplazada en un entorno urbano que impone restricciones técnicas y operacionales rigurosas. La obra comprende la ejecución de excavaciones profundas, perforaciones para anclajes e instalación de sistemas de fortificación, todas ellas actividades críticas para la estabilidad y el sostenimiento del terreno.

Este escenario se caracteriza por una dependencia absoluta de maquinaria especializada y una sincronización precisa entre cuadrillas. Al desarrollarse en un área urbana, el proyecto enfrenta desafíos constantes como la limitación de espacios, interferencias con servicios públicos existentes y compromisos contractuales de plazos extremadamente acotados. Estas variables lo convierten en el entorno ideal para evaluar un sistema de medición integral, ya que cualquier ineficiencia se traduce inmediatamente en retrasos críticos.

Desde la perspectiva administrativa, el proyecto dispone de una estructura organizacional con equipos técnicos y operativos en terreno que gestionan la planificación y el control diario. Actualmente, la información se captura a través de reportes operacionales tradicionales, los cuales sirven de base para la toma de decisiones, aunque a menudo de forma fragmentada.

La elección de esta obra como base del estudio se justifica por su **alta densidad técnica** y la **diversidad de procesos involucrados**. Contar con datos reales de ejecución de un proyecto de esta magnitud permite validar objetivamente la viabilidad del sistema propuesto y medir su impacto real en la optimización de la productividad.

## ANTECEDENTES – EDIFICIO TORRE CONTROL AVO II

|                                      |                                                                                                                |
|--------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <i>Contrato</i>                      | Entibación Temporal y Excavación Masiva - 4500094024                                                           |
| <i>Fecha de Emisión</i>              | 29/05/2025                                                                                                     |
| <i>Alcance y objeto del contrato</i> | ANCLAJES POSTENSADOS TEMPORALES<br>MALLA MFI<br>MOVIMIENTO DE TIERRAS                                          |
| <i>Plazo ejecución</i>               | 15 Semanas                                                                                                     |
| <i>Monto</i>                         | 15.694,77                                                                                                      |
| <i>Sistema de Turno</i>              | 5x2                                                                                                            |
| <i>Equipos Previstos</i>             | Excavadora 30 ton – 1 unid<br>Perforadora Anclajes – 1 unid<br>Inyectora – 1 unid<br>Camiones – 3 a 4 unidades |

**Figura 2.- Antecedentes del contrato original entre Pilotes Terratest S.A. y Gesvial S.A.**

*Fuente: Elaboración propia a partir de antecedentes contractuales del proyecto.*

### 3.1.1 Alcance técnico del sistema de anclajes temporales

El proyecto “Edificio Torre de Control – AVO II” contempla la ejecución de un sistema de entibación temporal mediante anclajes postensados, cuyo objetivo es asegurar la estabilidad de los taludes durante la excavación y la ejecución de la estructura definitiva.

El alcance técnico de este sistema se define a partir de la cubicación oficial de los anclajes del proyecto, la cual especifica el número de anclajes, sus longitudes, inclinaciones, estratos geotécnicos y cargas de diseño. Esta cubicación constituye la **línea base productiva y contractual del proceso de perforación de anclajes**, sobre la cual se planificaron los recursos, los rendimientos esperados y el plazo de ejecución

- Cubicación de anclajes temporales

PLANILLA STANDARD - REVISIÓN 2 FEBRERO 2020

Revisión F del 21 de Julio del 2025

| Sector                  | Numeración                | Línea | Cant. anc. | Tipo Anclaje | Anclaje Tipo | ah m | NA m  | Estrato       | Lv m | Lf m  | Lo m  | Lperf m | av ° | ah ° | Fw' kN | L anc. m | Lo tot m |
|-------------------------|---------------------------|-------|------------|--------------|--------------|------|-------|---------------|------|-------|-------|---------|------|------|--------|----------|----------|
| Pilas 1 a 7             | 1.01 a 1.07               | 1     | 7          | T-IR         | TERRA 6 - 6  | 3.30 | -2.0  | Grava Arenosa | 7.10 | 9.40  | 16.50 | 16.50   | 35   | 0    | 910    | 17.50    | 115.50   |
|                         | 2.01 a 2.07               | 2     | 7          | T-IR         | TERRA 6 - 6  | 3.30 | -6.0  | Limo          | 7.10 | 8.80  | 13.90 | 13.90   | 30   | 0    | 890    | 14.90    | 97.30    |
|                         | 3.01 a 3.07               | 3     | 7          | T-IR         | TERRA 6 - 6  | 3.30 | -10.5 | Limo          | 7.30 | 4.50  | 11.80 | 11.80   | 30   | 0    | 880    | 12.80    | 82.60    |
| Pilas 8 a 14            | 1.08 a 1.14               | 1     | 7          | T-IR         | TERRA 6 - 6  | 3.30 | -1.8  | Grava Arenosa | 8.10 | 12.20 | 20.30 | 20.30   | 20   | 0    | 905    | 21.30    | 142.10   |
|                         | 2.08 a 2.14               | 2     | 7          | T-IR         | TERRA 6 - 6  | 3.30 | -5.5  | Limo          | 8.10 | 9.60  | 17.70 | 17.70   | 20   | 0    | 905    | 18.70    | 123.90   |
|                         | 3.08 a 3.14               | 3     | 7          | T-IR         | TERRA 6 - 6  | 3.30 | -9.5  | Limo          | 8.10 | 6.80  | 14.90 | 14.90   | 20   | 0    | 905    | 15.90    | 104.30   |
|                         | 4.08 a 4.14               | 4     | 7          | T-IR         | TERRA 6 - 6  | 3.30 | -13.0 | Limo          | 8.20 | 4.50  | 12.70 | 12.70   | 20   | 0    | 920    | 13.70    | 88.90    |
| Pilas 15 a 18 y 57 a 68 | 1.15 a 1.18 y 1.57 a 1.68 | 1     | 16         | T-IR         | TERRA 6 - 6  | 3.30 | -2.0  | Limo          | 7.10 | 9.90  | 17.00 | 17.00   | 20   | 0    | 798    | 18.00    | 272.00   |
|                         | 2.15 a 2.18 y 2.57 a 2.68 | 2     | 16         | T-IR         | TERRA 6 - 6  | 3.30 | -6.0  | Limo          | 7.10 | 7.10  | 14.20 | 14.20   | 20   | 0    | 798    | 15.20    | 227.20   |
|                         | 3.15 a 3.18 y 3.57 a 3.68 | 3     | 16         | T-IR         | TERRA 6 - 6  | 3.30 | -10.5 | Limo          | 7.30 | 4.50  | 11.80 | 11.80   | 20   | 0    | 819    | 12.80    | 186.80   |
| Pilas 19 a 29           | 1.19 a 1.29               | 1     | 11         | T-IR         | TERRA 6 - 6  | 3.30 | -2.0  | Grava Arenosa | 7.10 | 9.70  | 16.80 | 16.80   | 25   | 0    | 828    | 17.80    | 184.80   |
|                         | 2.19 a 2.29               | 2     | 11         | T-IR         | TERRA 6 - 6  | 3.30 | -6.0  | Limo          | 7.10 | 7.10  | 14.20 | 14.20   | 20   | 0    | 798    | 15.20    | 156.20   |
|                         | 3.19 a 3.29               | 3     | 11         | T-IR         | TERRA 6 - 6  | 3.30 | -10.5 | Limo          | 7.30 | 4.50  | 11.80 | 11.80   | 20   | 0    | 819    | 12.80    | 126.80   |
| Pilas 30 a 42 y 44      | 1.30 a 1.42 y 1.44        | 1     | 14         | T-IR         | TERRA 6 - 8  | 2.20 | -4.0  | Limo          | 8.10 | 8.80  | 16.90 | 16.90   | 40   | 0    | 1110   | 17.00    | 236.60   |
|                         | 2.30 a 2.42 y 2.44        | 2     | 14         | T-IR         | TERRA 6 - 2  | 2.20 | -7.0  | Limo          | 3.00 | 6.40  | 9.40  | 9.40    | 40   | 0    | 281    | 10.40    | 131.60   |
|                         | 3.30 a 3.42 y 3.44        | 3     | 14         | T-IR         | TERRA 6 - 4  | 2.20 | -10.5 | Limo          | 4.70 | 4.50  | 9.20  | 9.20    | 35   | 0    | 610    | 10.20    | 128.60   |
| Pilas 43                | 1.43                      | 1     | 1          | T-IR         | TERRA 6 - 6  | 3.30 | -5.5  | Grava Arenosa | 7.10 | 7.20  | 14.30 | 14.30   | 35   | 0    | 910    | 15.30    | 14.30    |
|                         | 2.43                      | 2     | 1          | T-IR         | TERRA 6 - 2  | 3.30 | -7.0  | Limo          | 3.00 | 6.40  | 9.40  | 9.40    | 40   | 0    | 281    | 10.40    | 9.40     |
|                         | 3.43                      | 3     | 1          | T-IR         | TERRA 6 - 4  | 3.30 | -10.5 | Limo          | 4.70 | 4.50  | 9.20  | 9.20    | 35   | 0    | 610    | 10.20    | 6.20     |
| Pilas 30 a 56           | 2.45 a 2.56               | 2     | 12         | T-IR         | TERRA 6 - 7  | 2.20 | -7.0  | Limo          | 8.10 | 8.80  | 16.90 | 16.90   | 35   | 0    | 1038   | 17.90    | 202.80   |
|                         | 3.45 a 3.56               | 3     | 12         | T-IR         | TERRA 6 - 4  | 2.20 | -10.5 | Limo          | 4.70 | 4.50  | 9.20  | 9.20    | 35   | 0    | 610    | 10.20    | 110.40   |
|                         | TOTAL ANCLAJES            |       |            | 199          |              |      |       |               |      |       |       |         |      |      |        |          | 2756.50  |

Ver planos : AVOII-MAd-EC-EXS-PDE-001-v4 en Versión 1  
AVOII-MAd-EC-EXS-PPL-001-v2 en Versión 2

NOTA:

ah= separación entre anclajes (en horizontal) o pilas en planta  
 Lo = longitud del anclaje desde la placa hasta el fin del bulbo  
 Lv = longitud del bulbo  
 Lperf= longitud de perforación  
 Ladd= longitud adicional entre el eje del muro o pila y la placa  
 L anc = longitud del anclaje incluyendo 1.00 m de suplemento para el tensado  
 av = ángulo del eje del anclaje respecto de la horizontal  
 ah = ángulo horizontal según plano de planta del proyecto de entibación  
 Fw' = carga de servicio del anclaje

**Figura 3.- Cubicación oficial del sistema de anclajes temporales del proyecto Edificio Torre de Control – AVO II.**

*Fuente: Documentación técnica contractual, Pilotes Terratest S.A.*

En la Figura 3.- se presenta la cubicación del sistema de anclajes correspondiente al Edificio Torre de Control – AVO II, que considera aproximadamente **199 anclajes** y un total cercano a **2.756 metros de perforación**, distribuidos en distintos niveles y sectores de la obra.

Esta información permite cuantificar el volumen total de trabajo que debía ser ejecutado por el sistema productivo de anclajes, constituyendo la referencia para el análisis de productividad, el cálculo del SPI, el OEE y la valorización de los tiempos improductivos desarrollados en los capítulos siguientes.

### 3.1.2. Abastecimiento y Logística de Suministros

El abastecimiento es el pilar que sostiene el flujo de valor en la obra. Dada la estrecha interdependencia entre la excavación y la fortificación, cualquier quiebre en la cadena de suministros —como la falta de acero para anclajes o demoras en la llegada del hormigón— se convierte en una fuente inmediata de variabilidad.

Este análisis permite cuantificar cómo las fallas logísticas impactan directamente en la **Productividad Real (PR)**. Al transformar los retrasos operativos en datos medibles, es posible justificar la implementación de un sistema de control que identifique y elimine los "tiempos muertos" derivados de una gestión de recursos deficiente, asegurando que la maquinaria y las cuadrillas operen sin interrupciones por factores externos.

### 3.1.3. Gestión de Interfaces: Mandante e Inspección Técnica (ITO)

Esta dimensión regula las instancias de validación y supervisión necesarias para el cumplimiento contractual. Más que un trámite administrativo, la relación con la Inspección Técnica es un factor crítico para la **continuidad operacional**. Una gestión reactiva de estas interfaces suele generar "cuellos de botella", retrasos en la resolución de Consultas Técnicas (RFI) y detenciones no planificadas que degradan los rendimientos de la obra.

Al integrar estas interacciones en un sistema de medición de productividad, las aprobaciones y revisiones dejan de ser imprevistos para transformarse en **variables gestionables**. Esto permite anticipar requerimientos técnicos, reducir reprocesos y mitigar el impacto de las inspecciones sobre el flujo productivo, garantizando que el ritmo de la construcción no se vea comprometido por procesos de fiscalización.

### 3.1.4 Preparación de frentes de trabajo

La habilitación de frentes es el factor crítico que condiciona el flujo de producción. En obras de alta complejidad urbana, este proceso trasciende la mera delimitación de áreas, involucrando la liberación técnica y operativa de espacios para evitar **tiempos de espera (Mudas)**. Una preparación deficiente obliga a equipos y cuadrillas a operar en condiciones subóptimas, degradando los rendimientos y fragmentando la secuencia constructiva. Integrar la disponibilidad de frentes como un indicador de gestión permite transformar una restricción logística en una **variable medible**, facilitando la toma de decisiones proactiva para asegurar la continuidad operacional y minimizar las detenciones improductivas por falta de "cancha" = frentes de trabajo.

### 3.1.5 Ejecución de procesos constructivos

Representa la fase crítica donde se materializa el valor del proyecto a través de la perforación y fortificación. En obras de alta complejidad como AVO II, esta etapa presenta una alta sensibilidad a la variabilidad del entorno (suelo e interferencias) y una fuerte dependencia de la continuidad operativa de equipos especializados. El diagnóstico identifica que, aunque el control tradicional se enfoca en el **avance físico**, existe una brecha en la medición de la **eficiencia del recurso**. Al no profundizar en la causa raíz de los tiempos improductivos (fallas, ajustes de secuencia o descoordinación), se generan pérdidas ocultas que degradan el margen del proyecto. Por tanto, se justifica la transición hacia un sistema de medición integral que evalúe rendimientos y utilización real de recursos para optimizar la toma de decisiones en terreno.

### 3.1.6 Control, validación y cierre de actividades

Esta etapa representa el hito crítico de transferencia entre la ejecución y la aceptación contractual. En proyectos de fortificación, la validación técnica no es solo un trámite administrativo, sino una condición de seguridad para la continuidad de la excavación. El diagnóstico identifica que la falta de protocolos de cierre ágiles y criterios de aceptación ambiguos generan **tiempos improductivos (Mudas de espera)** que interrumpen la secuencia constructiva. Al integrar el cierre de actividades en un modelo de gestión basado en datos, este deja de ser un proceso reactivo y se convierte en una **variable controlable**, permitiendo reducir el *lead time* entre la ejecución y la aprobación, optimizando así el flujo de caja y la eficiencia global del proyecto.

### 3.2. Mapa del flujo de proceso actual (Situación "Sin Proyecto")

Para diagnosticar la operatividad actual, se ha trazado el flujo de procesos que rige la obra desde la habilitación de frentes hasta el cierre de las actividades. Este diagrama representa la **línea base** del estudio y permite visualizar de forma estructurada cómo interactúan los procesos, el abastecimiento y las aprobaciones técnicas antes de la intervención del sistema propuesto.



**FIGURA 3.1: DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROCESS ACTUAL**  
PROYECTO GEOTÉCNICO: PERFORACIÓN Y ANCLAJES (SITUAIÓN BASE)

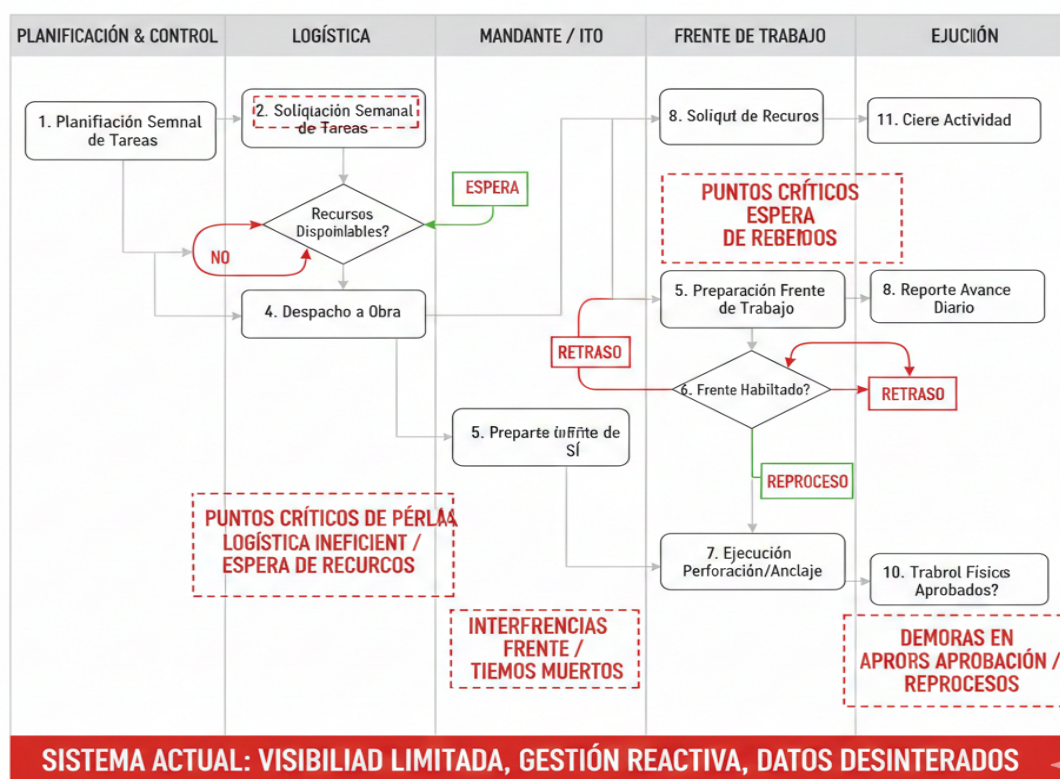


**Figura 3.1. Diagrama de flujo del proceso productivo actual en la ejecución de anclajes temporales (situación sin proyecto).**

*Fuente: Elaboración propia a partir del levantamiento de procesos en obra.*

- **Punto 1:** Planificación Semanal de Tareas.
- **Punto 2:** Solicitud de Recursos y Suministros.
- **Punto 4:** Despacho y Recepción en Obra.
- **Punto 5:** Preparación de Frente de Trabajo.

- **Punto 6:** ¿Frente Habilitado y Liberado? (Rombo de decisión).
- **Punto 7:** Ejecución: Perforación e Instalación de Anclajes.
- **Punto 8:** Reporte de Avance Diario (Parte Diario).
- **Punto 10:** ¿Trabajos Físicos Aprobados por ITO? (Rombo de decisión).
- **Punto 11:** Cierre de Actividad y Registro.

### Características del flujo actual:

- **Gestión Fragmentada:** El flujo operativo se caracteriza por silos de información. Los registros de avance, el control de recursos y la reportabilidad de terreno operan de forma independiente, lo que impide una visión holística del desempeño.
- **Visibilidad Limitada de Desviaciones:** Bajo este esquema tradicional, es difícil detectar oportunamente las causas raíz de las pérdidas. Las detenciones o ineficiencias operacionales suelen quedar ocultas en reportes generales, manifestándose solo cuando el impacto en plazo o costo ya es irreversible.
- **Dependencia y Cuellos de Botella:** El diagrama revela cómo la continuidad de la perforación y el anclaje está condicionada críticamente por la disponibilidad de frentes y las aprobaciones de la ITO. En la situación actual, estos puntos de control actúan frecuentemente como detenciones no planificadas en lugar de hitos fluidos.
- **Valor del diagnóstico gráfico:** Este mapa no solo identifica dónde se producen las esperas y los reprocesos, sino que expone la incapacidad de los sistemas actuales para capturar datos precisos en tiempo real. Al establecer esta línea base, se justifica técnicamente la necesidad de transitar hacia un sistema de medición que transforme este flujo reactivo en un proceso controlado, predecible y orientado a la toma de decisiones basada en datos.

### 3.3. Recursos y Herramientas para la Gestión

La viabilidad técnica del sistema no depende de la adquisición de nuevos activos, sino de la optimización y digitalización de los recursos ya disponibles en Pilotes Terratest S.A.

- **Recursos Operativos (Maquinaria y Cuadrillas):** Los equipos especializados (perforadoras y excavadoras) son el recurso crítico debido a su alto costo horario. El sistema propuesto aprovecha la capacidad de estos equipos para generar datos

(tiempos de perforación vs. inactividad), permitiendo transitar de un enfoque de "avance físico" a uno de **Eficiencia Global de Equipos (OEE)**. Aquí, la métrica clave es la coordinación entre la cuadrilla y la máquina para reducir detenciones no planificadas.

- **Herramientas de Administración:** Actualmente, la gestión se sustenta en bitácoras manuales dispersas que priorizan el control contractual. La propuesta técnica se basa en la **estandarización y centralización** de estos registros. Al estructurar la información que ya se levanta en terreno (reportes diarios y comunicaciones técnicas), es posible integrar indicadores de desempeño (KPIs) sin incurrir en grandes inversiones tecnológicas.

### 3.4. Diagnóstico del Sistema de Control Actual (Situación "Sin Proyecto")

El sistema vigente se enfoca casi exclusivamente en el cumplimiento de plazos contractuales y avance físico, omitiendo el análisis de eficiencia. Este enfoque presenta limitaciones críticas para la mejora continua:

1. **Fragmentación de la Información:** Los reportes diarios cumplen una función administrativa de respaldo, pero carecen de una estructura que permita identificar causas raíz de desviaciones o cuantificar "Mudas" (tiempos improductivos).
2. **Carencia de Indicadores de Eficiencia:** El control actual verifica *qué* se hizo, pero no *cómo* se hizo. Al no distinguir sistemáticamente entre tiempo productivo, contributivo y no contributivo, el proyecto pierde visibilidad sobre su verdadero rendimiento operacional.
3. **Dependencia del Juicio Individual:** Al no existir una metodología estandarizada para interpretar los datos, la toma de decisiones depende de la experiencia del profesional de turno. Esto genera alta variabilidad y dificulta la replicabilidad de buenas prácticas.

### 3.5. Sistema propuesto de medición y mejora de la productividad (situación con proyecto)

El sistema que se propone nace con la misión de transformar la gestión en terreno, superando el enfoque reactivo actual mediante una metodología estructurada que permita medir, analizar y optimizar el desempeño operativo en tiempo real. Más que un simple conjunto de métricas, este sistema se concibe como un **aliado estratégico** para la toma de decisiones, permitiendo que la gestión de proyectos geotécnicos deje de basarse en intuiciones y pase a fundamentarse en datos objetivos y procesos de mejora continua.

A diferencia del escenario tradicional (situación sin proyecto), este modelo integra de forma sistemática cada dato generado en la faena. Su valor diferencial radica en la capacidad de visibilizar la frontera entre el tiempo que realmente agrega valor y aquel

que se pierde en ineficiencias, permitiendo diagnosticar causas raíz y evaluar cómo cada decisión operativa impacta en la salud financiera y técnica del proyecto.

Para lograrlo, la propuesta no intenta "inventar la rueda", sino que adapta con éxito pilares de la eficiencia industrial al dinamismo de la construcción:

- **Indicador OEE:** Para maximizar la disponibilidad y el rendimiento de la maquinaria pesada.
- **Filosofía Lean Construction:** Para depurar los procesos de cualquier desperdicio o actividad no contributiva.
- **Metodología Earned Value Management (EVM):** Para asegurar que el avance físico camine de la mano con el presupuesto y el cronograma.

#### 3.5.1. Enfoque general del sistema propuesto

El sistema propuesto se estructura a partir de la identificación de los procesos constructivos críticos del proyecto y de los recursos asociados a su ejecución, tales como equipos, cuadrillas y frentes de trabajo. Sobre esta base, se define un conjunto de indicadores que permiten medir el desempeño operativo de cada proceso, considerando tanto los resultados obtenidos como la eficiencia en el uso de los recursos disponibles.

El enfoque del sistema se orienta a generar información simple, confiable y oportuna, que pueda ser recopilada directamente en terreno sin afectar la continuidad de las operaciones. Esta información se consolida de manera periódica y se utiliza para evaluar el comportamiento productivo del proyecto, identificar desviaciones respecto a lo planificado y apoyar la implementación de acciones correctivas.

#### 3.5.2. Adaptación del indicador OEE al contexto de la construcción

El indicador OEE (Overall Equipment Effectiveness) es una herramienta ampliamente utilizada en entornos industriales para medir la eficiencia global de los equipos productivos. En el contexto del presente trabajo, este indicador se adapta a la realidad de la construcción, considerando las particularidades de los procesos geotécnicos y la interacción entre equipos y cuadrillas de trabajo.

La adaptación del OEE permite evaluar la eficiencia operacional a partir de tres componentes fundamentales: disponibilidad, rendimiento y calidad, reinterpretados en función de las condiciones de obra. De esta manera, el sistema propuesto permite identificar pérdidas asociadas a detenciones no planificadas, bajos rendimientos operativos y reprocesos, entregando una visión integral del desempeño productivo.

### 3.5.3. Incorporación de principios de Lean Construction

El sistema propuesto incorpora principios de Lean Construction como marco conceptual para la identificación y eliminación de pérdidas en los procesos constructivos. Este enfoque permite analizar el flujo de trabajo, detectar actividades que no agregan valor y mejorar la coordinación entre los distintos procesos que se desarrollan en obra.

La aplicación de principios Lean se orienta a reducir tiempos de espera, minimizar interferencias y mejorar la continuidad de las operaciones en terreno. En el sistema propuesto, estos principios se integran con los indicadores de medición, facilitando la identificación de causas raíz de las ineficiencias productivas y promoviendo una cultura de mejora continua en el proyecto.

### 3.5.4. Integración de herramientas de Earned Value Management

Con el objetivo de vincular el desempeño productivo con el control de plazos y costos, el sistema propuesto incorpora herramientas de Earned Value Management (EVM). Esta integración permite relacionar el avance físico de las actividades con los recursos utilizados, entregando una visión conjunta del desempeño técnico y económico del proyecto.

La utilización de indicadores derivados del EVM permite evaluar el impacto de las desviaciones productivas en el cumplimiento del programa y en la utilización del presupuesto, fortaleciendo la capacidad del proyecto para anticipar riesgos y tomar decisiones informadas. En el contexto del sistema propuesto, estas herramientas se utilizan de manera complementaria a los indicadores productivos, sin reemplazar los mecanismos tradicionales de control, sino reforzándolos.

### 3.5.5. Funcionamiento general del sistema propuesto

El funcionamiento del sistema propuesto se basa en un ciclo continuo de medición, análisis y mejora. En primer lugar, se recopila información productiva en terreno, la cual es registrada de manera estructurada y consolidada periódicamente. Posteriormente, esta información es analizada mediante los indicadores definidos, permitiendo evaluar el desempeño de los procesos constructivos y detectar desviaciones respecto a los objetivos establecidos.

A partir de este análisis, se definen acciones de mejora orientadas a optimizar la utilización de los recursos, reducir pérdidas productivas y mejorar la continuidad operacional del proyecto. Finalmente, los resultados obtenidos son utilizados como retroalimentación para ajustar la planificación y fortalecer el sistema de gestión productiva, cerrando el ciclo de mejora continua.

### **3.6. Definición de indicadores y variables de medición**

La definición de indicadores y variables de medición constituye un elemento central del sistema propuesto, ya que permite transformar la información generada en terreno en datos objetivos para el análisis del desempeño productivo. En el contexto del presente trabajo, los indicadores se definen con el propósito de evaluar la eficiencia de los procesos constructivos, identificar pérdidas productivas y apoyar la toma de decisiones orientadas a la mejora continua.

Los indicadores seleccionados se fundamentan en la adaptación de metodologías reconocidas, tales como el indicador OEE, principios de Lean Construction y herramientas de Earned Value Management, ajustadas a las particularidades de los proyectos de construcción y, específicamente, de las obras geotécnicas analizadas. La definición de estas variables considera la factibilidad de su medición en terreno y la disponibilidad de información en el contexto real del proyecto.

#### **3.6.1. Criterios para la selección de indicadores**

La selección de los indicadores de desempeño se realiza considerando criterios de simplicidad, relevancia y aplicabilidad práctica en obra. Se priorizan aquellos indicadores que permiten reflejar de manera clara el comportamiento productivo de los procesos constructivos, evitando métricas excesivamente complejas que dificulten su aplicación en terreno.

Entre los principales criterios considerados se encuentran la capacidad del indicador para identificar desviaciones productivas, su relación directa con el uso de los recursos y su aporte a la mejora de la gestión operativa del proyecto. Asimismo, se busca que los indicadores definidos puedan ser utilizados de manera sistemática y replicable en proyectos de características similares.

#### **3.6.2. Variables de medición asociadas a los procesos constructivos**

Las variables de medición corresponden a los elementos básicos que permiten construir los indicadores de desempeño productivo. En el caso de los procesos geotécnicos analizados, estas variables se asocian principalmente a los tiempos de ejecución, la utilización de equipos y la producción obtenida en cada actividad.

Entre las variables consideradas se incluyen los tiempos productivos, tiempos improductivos, periodos de detención, rendimientos operacionales y volúmenes o longitudes ejecutadas. Estas variables permiten caracterizar el comportamiento real de los procesos constructivos y constituyen la base para el análisis de la eficiencia operativa.

La correcta identificación y registro de estas variables resulta fundamental para asegurar la confiabilidad de los indicadores y la validez de los análisis posteriores. En este sentido, se

considera que las variables seleccionadas deben ser fácilmente observables y registrables en terreno, sin generar una carga administrativa excesiva para el equipo de obra.

### 3.6.3. Indicadores de desempeño productivo

A partir de las variables definidas, se establecen indicadores que permiten evaluar el desempeño productivo de los procesos constructivos. Estos indicadores se orientan a medir la eficiencia en el uso de los recursos, la continuidad de las operaciones y la calidad de los resultados obtenidos.

En el marco del sistema propuesto, los indicadores de desempeño productivo permiten analizar la disponibilidad de los equipos, el rendimiento operativo de las actividades y la ocurrencia de reprocesos o desviaciones respecto a lo planificado. La integración de estos indicadores entrega una visión global del desempeño del proyecto y facilita la identificación de oportunidades de mejora.

### 3.6.4. Relación entre indicadores productivos y gestión del proyecto

La utilización de indicadores de desempeño productivo no se limita a la medición de resultados, sino que se concibe como una herramienta de apoyo a la gestión del proyecto. La información generada a partir de los indicadores permite evaluar el impacto de las decisiones operacionales en el avance del proyecto y en la utilización de los recursos disponibles.

Asimismo, la integración de los indicadores productivos con herramientas de control de plazos y costos permite fortalecer la capacidad de gestión del proyecto, entregando una base objetiva para la planificación, el control y la mejora continua. En este contexto, los indicadores definidos en el sistema propuesto constituyen un insumo fundamental para la evaluación técnica del desempeño del proyecto y para la validación de la efectividad del sistema de medición implementado.

## 3.7. Evaluación técnica de la implementación del sistema propuesto

La evaluación técnica de la implementación del sistema propuesto tiene por objetivo analizar la viabilidad de aplicar, en condiciones reales de obra, el sistema integral de medición y mejora de la productividad definido en los apartados anteriores. Esta evaluación se realiza considerando la compatibilidad del sistema con los procesos constructivos existentes, la estructura organizacional del proyecto y los recursos técnicos disponibles en terreno.

A diferencia de un análisis de resultados, esta evaluación se centra en determinar si el sistema puede ser implementado de manera efectiva sin afectar la continuidad operacional del proyecto y si cuenta con las condiciones mínimas necesarias para generar información confiable y útil para la gestión productiva.

#### 3.7.1. Compatibilidad del sistema con los procesos constructivos

El sistema propuesto presenta una alta compatibilidad con los procesos constructivos analizados, ya que se estructura a partir de actividades y flujos operativos que forman parte de la ejecución normal de las obras geotécnicas. La medición de variables como tiempos de ejecución, utilización de equipos y rendimientos operacionales se integra de manera natural a las dinámicas de trabajo existentes, sin requerir modificaciones sustanciales en la forma de ejecutar las actividades.

Asimismo, el enfoque del sistema permite adaptarse a la variabilidad propia de los proyectos de construcción, considerando las particularidades de cada frente de trabajo y las condiciones cambiantes del entorno. Esta flexibilidad constituye un elemento clave para asegurar la aplicabilidad técnica del sistema en obras de alta complejidad.

#### 3.7.2. Factibilidad operativa de la implementación en terreno

Desde el punto de vista operativo, la implementación del sistema resulta factible, ya que se apoya en información que puede ser obtenida directamente en terreno mediante registros simples y observables. La recopilación de datos no requiere instrumentación especializada ni tecnologías complejas, lo que facilita su adopción por parte del equipo de obra y reduce las barreras para su implementación.

La estructura del sistema permite una aplicación gradual, comenzando con la medición de procesos críticos y ampliándose progresivamente a otras actividades del proyecto. Esta característica contribuye a minimizar el impacto inicial de la implementación y favorece la adaptación del equipo de trabajo al uso de indicadores de desempeño productivo.

#### 3.7.3. Impacto del sistema en la gestión productiva del proyecto

La implementación del sistema propuesto tiene el potencial de generar un impacto significativo en la gestión productiva del proyecto, al proporcionar información objetiva y estructurada sobre el desempeño de los procesos constructivos. Esta información permite identificar de manera temprana desviaciones productivas, analizar sus causas y definir acciones de mejora orientadas a optimizar el uso de los recursos.

El sistema contribuye además a fortalecer la toma de decisiones en terreno, reduciendo la dependencia de criterios subjetivos y facilitando una gestión basada en datos. La integración de indicadores productivos con herramientas de control de plazos y costos refuerza la capacidad del proyecto para anticipar riesgos y mejorar su desempeño global.

#### 3.7.4. Limitaciones técnicas y consideraciones para su aplicación

Si bien el sistema propuesto presenta una alta factibilidad técnica, su implementación efectiva depende de ciertos factores críticos, tales como la disciplina en el registro de información, la capacitación del personal involucrado y el compromiso de la organización con la mejora continua. La ausencia de estos elementos puede limitar el alcance de los beneficios esperados.

Asimismo, la calidad de los resultados obtenidos está directamente relacionada con la consistencia y confiabilidad de los datos registrados en terreno. Por ello, resulta fundamental establecer criterios claros para la recopilación de información y asegurar una adecuada supervisión del proceso de medición durante la aplicación del sistema.

La evaluación técnica realizada permite concluir que el sistema propuesto es viable desde el punto de vista operativo y metodológico, y que su implementación en proyectos de obras geotécnicas resulta factible bajo las condiciones analizadas, constituyendo una base sólida para su validación mediante la aplicación práctica y el análisis de resultados.

## **CAPÍTULO 4: APLICACIÓN DEL SISTEMA Y ANÁLISIS DE RESULTADOS**

El presente capítulo tiene por objetivo aplicar el sistema integral de medición y mejora de la productividad propuesto en el capítulo anterior, utilizando información real obtenida en terreno durante la ejecución del proyecto de obras geotécnicas analizado. A través de esta aplicación práctica, se busca validar la factibilidad del sistema y evaluar su aporte en la identificación de pérdidas productivas, el análisis del desempeño operativo y el apoyo a la toma de decisiones en obra.

El desarrollo de este capítulo se estructura a partir de la recopilación y análisis de datos productivos reales, generados durante la ejecución de actividades críticas del proyecto. Estos datos permiten comparar la situación previa a la implementación del sistema con los resultados obtenidos tras su aplicación, evidenciando las mejoras alcanzadas y las oportunidades de optimización detectadas.

La información utilizada se presenta de manera agregada y con fines académicos, resguardando la confidencialidad de los antecedentes sensibles del proyecto y de la empresa ejecutora.

#### **4.1. Análisis de la productividad real en la ejecución de anclajes**

La actividad de **ejecución de anclajes temporales** constituyó el proceso crítico del proyecto “Edificio Torre de Control – AVO II”, dado que su avance condicionaba directamente la continuidad de la excavación, la instalación de malla y la fortificación general de la obra, tal como se indica en el Informe de Cierre del proyecto.

Para evaluar objetivamente el desempeño productivo de esta actividad, se utilizaron los registros diarios de producción correspondientes a la ejecución de anclajes, obtenidos desde la planilla “**Producción Anclajes**”, la cual contiene información real de la obra, incluyendo horas de actividad, metros ejecutados y tiempos de detención.

Los principales indicadores considerados para este análisis son:

- **Tiempo de actividad (TA):** corresponde al número de horas disponibles del equipo de perforación durante la jornada.
- **Resultado (R):** corresponde a los metros lineales de anclaje ejecutados en la jornada.
- **Tiempos improductivos (TI):** corresponden a las horas registradas como detención propia o detención del cliente, es decir, períodos en los cuales el equipo estuvo disponible pero sin producción efectiva.

A partir de estos datos, la **Productividad Real (PR)** se define como:

$$PR = \frac{R}{TA - TI}$$

donde:

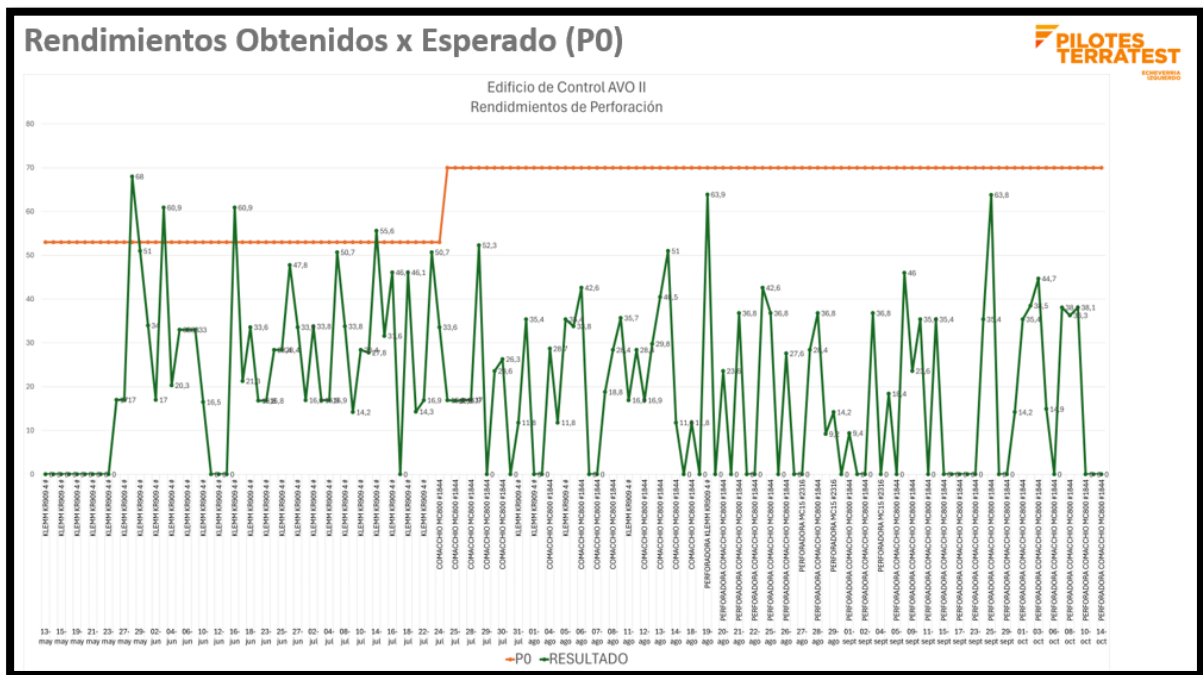
- *R* es el metraje ejecutado en la jornada,
- *TA* es el tiempo total de actividad del equipo,
- *TI* es el tiempo total de detenciones.

El análisis de los registros muestra que durante una parte significativa del período de ejecución existieron jornadas completas sin producción de anclajes, aun cuando los equipos se encontraban disponibles. Por ejemplo, se registraron días con 9 a 11 horas de actividad y 0 metros ejecutados, asociados principalmente a restricciones operativas, espera de frentes, reprogramaciones y actividades auxiliares como retiro de material, instalación de malla o movimientos de equipos.

Este comportamiento evidencia una pérdida significativa de continuidad productiva, ya que los recursos críticos —perforadoras, operadores y equipos auxiliares— permanecieron activos en términos contractuales, pero sin generar avance físico en la partida que definía la ruta crítica del proyecto.

Desde el punto de vista de la gestión productiva, esta situación confirma que las desviaciones de plazo observadas en el proyecto no se originaron por una baja capacidad técnica del equipo, sino por la existencia de **tiempos improductivos estructurales**, asociados a interferencias, secuencia constructiva, validaciones técnicas y restricciones externas, tal como también se identifica en el Informe de Cierre.

En consecuencia, la productividad real de los anclajes se vio severamente afectada por la baja disponibilidad efectiva del proceso, generando rendimientos inferiores a los previstos y provocando la extensión del plazo contractual y el aumento de los costos indirectos de la obra.



urbano. Tal como se observó durante el desarrollo de la obra y se consigna en el Informe de Cierre, estos factores influyeron de manera significativa en la continuidad productiva, afectando el desempeño global del sistema de ejecución de anclajes.

#### 4.2.1 Definición del OEE adaptado al proceso de anclajes

Para efectos de este estudio, el OEE se define como:

$$OEE = Disponibilidad \times Rendimiento \times Calidad$$

donde:

##### a) Disponibilidad

La disponibilidad representa el porcentaje del tiempo en que el equipo de perforación estuvo efectivamente disponible para producir, descontando los tiempos de detención asociados a restricciones operativas, esperas, interferencias y fallas.

$$Disponibilidad = \frac{TA - TI}{TA}$$

donde:

- *TA* es el tiempo total de actividad programado del equipo,
- *TI* corresponde a la suma de las detenciones propias y detenciones del cliente registradas en los reportes diarios.

En el proyecto analizado, los registros de producción muestran múltiples jornadas con tiempos de detención equivalentes al total de la jornada, es decir, días completos en los cuales la disponibilidad efectiva fue cercana a cero, pese a que los equipos y el personal se encontraban asignados a la obra. Esta situación coincide con los eventos descritos en el Informe de Cierre, tales como reprogramaciones por interferencias, espera de frentes, re-perforaciones y restricciones técnicas.

##### b) Rendimiento

El rendimiento mide la velocidad real de producción del proceso en relación con la velocidad teórica o esperada.

$$Rendimiento = \frac{PR}{PR_{esperada}}$$

donde:

- $PR$  es la productividad real obtenida en obra (metros de anclaje por hora efectiva),
- $PR_{esperada}$  corresponde al rendimiento previsto en la planificación inicial.

Los datos de producción muestran una alta variabilidad diaria, con jornadas de alto rendimiento cuando existían frentes habilitados y condiciones estables, y jornadas de rendimiento nulo cuando las restricciones impedían ejecutar anclajes. Esta variabilidad confirma que el proceso no operó en régimen estable, lo que reduce significativamente el rendimiento promedio del sistema.

#### c) Calidad

En el contexto de los anclajes, la calidad se asocia a la proporción de trabajos ejecutados que cumplen con los requisitos técnicos sin necesidad de reprocesos. Las no conformidades, re-perforaciones y modificaciones de diseño reportadas en el Informe de Cierre (fallas en cargas de prueba, suelos contaminados, errores en vainas de reinyección y problemas en hombros) implicaron que una fracción de los metros ejecutados no fue válida a la primera, reduciendo la eficiencia del proceso.

$$Calidad = \frac{\text{Metros válidos}}{\text{Metros totales ejecutados}}$$

#### 4.2.2 Interpretación del OEE del proyecto

La combinación de baja disponibilidad, alta variabilidad de rendimiento y reprocesos técnicos permitió identificar que el **OEE real del proceso de anclajes fue significativamente inferior al nivel esperado**, aun cuando la capacidad técnica de los equipos y del personal era adecuada.

Este resultado confirma que el problema principal del proyecto no fue la falta de recursos ni de competencias, sino la **falta de un sistema estructurado de gestión de restricciones y control de tiempos improductivos**, lo que generó pérdidas acumulativas que impactaron directamente en el plazo y en los costos de la obra.

### 4.3 Impacto de la productividad real en el plazo del proyecto (EVM – SPI)

El Control de Valor Ganado (**Earned Value Management, EVM**) es una metodología que permite evaluar el desempeño de un proyecto integrando tres dimensiones: **avance físico, tiempo y costo**. En el presente estudio, esta herramienta se utiliza para analizar el impacto que tuvo la productividad real de la ejecución de anclajes sobre el plazo global del proyecto “Edificio Torre de Control – AVO II”.

El indicador principal utilizado para evaluar el desempeño del plazo es el **Schedule Performance Index (SPI)**, el cual se define como:

$$SPI = \frac{EV}{PV}$$

donde:

- **EV (Earned Value)** corresponde al valor ganado, es decir, el valor presupuestado del trabajo efectivamente ejecutado.
- **PV (Planned Value)** corresponde al valor planificado, es decir, el valor presupuestado del trabajo que debió haberse ejecutado según el programa original.

Un valor de **SPI = 1** indica que el proyecto avanza conforme a lo planificado; valores menores a 1 reflejan atraso, mientras que valores mayores a 1 indican adelanto.

#### 4.3.1 Evaluación del SPI del proyecto AVO II

De acuerdo con el Informe de Cierre de Obra, el proyecto presentó las siguientes fechas relevantes:

- **Inicio contractual:** 29 de mayo de 2025
- **Término contractual:** 11 de septiembre de 2025
- **Inicio real:** 12 de mayo de 2025
- **Término real:** 15 de octubre de 2025

Estas fechas permiten determinar que el plazo contractual correspondía aproximadamente a **15 semanas**, mientras que la duración real del proyecto fue cercana a **22 semanas**. Considerando que el avance físico total se alcanzó finalmente al término de la obra, el valor

ganado (EV) al cierre del proyecto es equivalente al 100% del alcance contratado, mientras que el valor planificado (PV) al término contractual correspondía también al 100%.

Sin embargo, si se analiza el avance en el momento en que el proyecto debió haber finalizado contractualmente (11 de septiembre de 2025), se observa que una parte significativa de las actividades aún no se encontraba ejecutada, principalmente en la partida de anclajes temporales, la cual condicionaba la ruta crítica del proyecto.

De manera aproximada, el **SPI global del proyecto** puede estimarse como la relación entre el plazo planificado y el plazo real:

$$SPI \approx \frac{\text{Plazo planificado}}{\text{Plazo real}} = \frac{15}{22} \approx 0,68$$

Este valor indica que el proyecto avanzó, en promedio, a un **68% de la velocidad programada**, lo que implica una pérdida de eficiencia de aproximadamente **32%** en términos de cumplimiento de plazo.

#### 4.3.2 Relación entre el SPI y la productividad real

El bajo valor del SPI obtenido se explica directamente por la pérdida de productividad observada en la ejecución de anclajes, tal como se evidenció en el análisis de Productividad Real y en el OEE del proceso. Las detenciones operativas, interferencias técnicas, reprocesos y restricciones de frentes de trabajo redujeron la disponibilidad y el rendimiento efectivo de los equipos, generando una desaceleración sistemática del avance físico respecto de lo planificado.

En consecuencia, el atraso del proyecto no puede atribuirse únicamente a eventos aislados, sino al **comportamiento acumulativo de un sistema productivo con baja eficiencia global**, donde las pérdidas de disponibilidad y rendimiento se tradujeron directamente en una reducción del valor ganado por unidad de tiempo.

Este análisis valida la hipótesis central del presente trabajo: que la falta de un sistema estructurado de medición y control de la productividad impide anticipar y gestionar adecuadamente las desviaciones, provocando impactos significativos en el cumplimiento de los plazos contractuales.

#### **4.4 Impacto económico de los tiempos improductivos**

La pérdida de productividad observada durante la ejecución de los anclajes temporales no solo tuvo efectos en el plazo del proyecto, sino que generó un impacto económico directo sobre los costos de la obra. En proyectos geotécnicos, donde la operación depende de equipos especializados de alto valor y mano de obra calificada, cada hora de detención representa un costo significativo, aun cuando no exista producción física asociada.

De acuerdo con los registros de producción del proyecto “Edificio Torre de Control – AVO II”, una fracción relevante del tiempo disponible de los equipos de perforación se consumió en detenciones atribuibles tanto al mandante como a la propia operación. Estas detenciones incluyeron, entre otras, esperas por habilitación de frentes, interferencias con otras especialidades, reprocesos por fallas en anclajes, reubicaciones de equipos, restricciones por condiciones climáticas y validaciones técnicas no oportunas, tal como se describe en el Informe de Cierre de Obra.

Desde el punto de vista económico, estos tiempos improductivos implican que los costos de operación continúan siendo incurridos —sueldos, arriendo o depreciación de equipos, combustible, mantenimiento, supervisión y gastos generales— sin generar valor físico equivalente en la obra.

A partir de los registros financieros del proyecto se analizaron los costos reales de mano de obra y equipos.

## 2.3 Costos de Obra

### Costos de Mano de Obra:

| <b>PILOTES TERRATEST</b><br><b>Matriz de costos</b><br>Proyecto: 24160 - Edificio de Control I<br>Código Proyecto: 24160<br>UF Contrato: 38.919,16<br>Ingeniero:<br>Fecha Inicio:<br>Fecha Término:<br>MES - 6<br>oct-25<br>Rev. 10-oct |                        |                       |                                 |                       |                       |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------|-----------------------|---------------------------------|-----------------------|-----------------------|
|                                                                                                                                                                                                                                         |                        |                       |                                 | TOTAL                 | Diferencia            |
| Categoría                                                                                                                                                                                                                               | Nombre Categoría       | Presupuesto Original  | Total Presupuesto + Adicionales |                       |                       |
| 11                                                                                                                                                                                                                                      | MANO DE OBRA DIRECTA   | \$ 77.454.594         | \$ 77.454.594                   | \$ 104.063.433        | \$ -26.608.839        |
| 12                                                                                                                                                                                                                                      | MANO DE OBRA INDIRECTA | \$ 27.343.157         | \$ 27.343.157                   | \$ 97.320.708         | \$ -69.977.551        |
| <b>TOTAL</b>                                                                                                                                                                                                                            |                        | <b>\$ 104.797.751</b> | <b>\$ 104.797.751</b>           | <b>\$ 201.384.141</b> | <b>\$ -96.586.390</b> |

### Costos de Equipos Principales y Secundarios:

| <b>PILOTES TERRATEST</b><br><b>Matriz de costos</b><br>Proyecto: 24160 - Edificio de Control<br>Código Proyecto: 24160<br>UF Contrato: 38.919,16<br>Ingeniero:<br>Fecha Inicio:<br>Fecha Término:<br>MES - 6<br>oct-25<br>Rev. 10-oct |                     |                      |                                 |                |                |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------|----------------------|---------------------------------|----------------|----------------|
|                                                                                                                                                                                                                                       |                     |                      |                                 | TOTAL          | Diferencia     |
| Categoría                                                                                                                                                                                                                             | Nombre Categoría    | Presupuesto Original | Total Presupuesto + Adicionales |                |                |
| 41                                                                                                                                                                                                                                    | EQUIPOS             | \$ 67.388.083        | \$ 237.984.988                  | \$ 164.025.473 | \$ 73.959.515  |
| 0100                                                                                                                                                                                                                                  | Equipos Principales | \$ 33.772.782        | \$ 204.363.686                  | \$ 67.013.153  | \$ 137.350.533 |
| 0200                                                                                                                                                                                                                                  | Equipos Secundarios | \$ 23.658.826        | \$ 23.658.826                   | \$ 80.158.621  | \$ -56.499.795 |
| 0300                                                                                                                                                                                                                                  | Traslados           | \$ 3.956.475         | \$ 3.956.475                    | \$ 16.853.639  | \$ -6.897.224  |
| 0400                                                                                                                                                                                                                                  | Preparación         | \$ -                 | \$ -                            | \$ -           | \$ -           |

**Figura 4.2. – Matriz de costos reales del proyecto AVO II (Mano de obra y equipos).** (Fuente: Elaboración propia a partir de registros contables y asignación de recursos de Pilotes Terratest).

**Nota de análisis:** Esta matriz detalla la estructura de costos directos asociados a la operación. Al contrastar estos valores con los tiempos improductivos identificados, se hace evidente que el costo de "mantener el sistema activo" (maquinaria y cuadrillas) es constante, independientemente de si hay avance físico o no. Esta rigidez en los costos fijos operativos subraya la gravedad de las detenciones, ya que cada hora de inactividad de los equipos de perforación representa una pérdida neta que impacta directamente el margen de utilidad proyectado.

### 4.4.1 Identificación de los tiempos improductivos

Para entender dónde se diluyó la eficiencia del proyecto, analizamos los **Tiempos Improductivos (TI)** extraídos de los reportes diarios. Estos registros actúan como la bitácora de lo que "pudo ser y no fue": horas en las que, a pesar de tener el equipo de perforación

en posición y la cuadrilla lista para operar, la producción se detuvo por factores externos (detenciones del cliente) o fallas internas (detenciones propias).

Lo más revelador de este análisis es que se detectaron jornadas donde el tiempo improductivo alcanzó el **100% del turno**. Este dato es una evidencia contundente: la raíz del problema no reside en una falta de capacidad técnica o en la calidad de la maquinaria de Pilotes Terratest, sino en una **deficiente gestión de restricciones**.

En lugar de un flujo continuo, la obra se enfrentó a una secuencia constructiva interrumpida, donde la máquina —el recurso más costoso— se vio obligada a permanecer inactiva por falta de frentes liberados o descoordinaciones logísticas. Esta desconexión entre el potencial productivo y la realidad operativa es, precisamente, lo que el sistema propuesto busca visibilizar y corregir.

| FECHA    | EQUIPO PRINCIPAL            | TIEMPO ACTIVIDAD | TIEMPO REAL DE PRODUCCION | PO   | RENDIMIENTO | DETENCION CLIENTE | DETENCION PROPIA | TRASLADO Y PLATAFORMA |
|----------|-----------------------------|------------------|---------------------------|------|-------------|-------------------|------------------|-----------------------|
| 13-05-25 | PERFORADORA KLEMM KR909 4 # | 9,0              | 0,0                       | 55,0 | 0,0         | 0,0               | 0,0              | 9,0                   |
| 14-05-25 | PERFORADORA KLEMM KR909 4 # | 9,0              | 0,0                       | 55,0 | 0,0         | 0,0               | 0,0              | 9,0                   |
| 15-05-25 | PERFORADORA KLEMM KR909 4 # | 9,0              | 0,0                       | 55,0 | 0,0         | 9,0               | 0,0              | 0,0                   |
| 16-05-25 | PERFORADORA KLEMM KR909 4 # | 8,0              | 0,0                       | 55,0 | 0,0         | 8,0               | 0,0              | 0,0                   |
| 19-05-25 | PERFORADORA KLEMM KR909 4 # | 9,0              | 0,0                       | 55,0 | 0,0         | 9,0               | 0,0              | 0,0                   |
| 20-05-25 | PERFORADORA KLEMM KR909 4 # | 9,0              | 0,0                       | 55,0 | 0,00        | 9,0               | 0,0              | 0,0                   |
| 21-05-25 | PERFORADORA KLEMM KR909 4 # | 0,0              | 0,0                       | 55,0 | 0,00        | 0,0               | 0,0              | 0,0                   |
| 22-05-25 | PERFORADORA KLEMM KR909 4 # | 9,0              | 0,0                       | 55,0 | 0,00        | 9,0               | 0,0              | 0,0                   |
| 23-05-25 | PERFORADORA KLEMM KR909 4 # | 8,0              | 8,0                       | 55,0 | 0,00        | 0,0               | 8,0              | 0,0                   |
| 26-05-25 | PERFORADORA KLEMM KR909 4 # | 9,0              | 9,0                       | 55,0 | 17,00       | 0,0               | 4,0              | 0,0                   |
| 27-05-25 | PERFORADORA KLEMM KR909 4 # | 9,0              | 6,5                       | 55,0 | 17,00       | 2,5               | 1,0              | 0,0                   |
| 28-05-25 | PERFORADORA KLEMM KR909 4 # | 9,0              | 9,0                       | 55,0 | 68,00       | 0,0               | 0,0              | 0,0                   |
| 29-05-25 | PERFORADORA KLEMM KR909 4 # | 9,0              | 9,0                       | 55,0 | 51,00       | 0,0               | 0,0              | 0,0                   |

**Figura 4.3- Registro de bitácora diaria y detenciones operacionales**

Para dar sustento al análisis de productividad, se ha extraído entre un rango de fechas una muestra representativa de la bitácora diaria de terreno . En este registro se evidencia que las detenciones no fueron hechos aislados, sino que respondieron a una falta de continuidad operacional sistemática.

Como se observa en los registros, existen jornadas donde la producción fue nula (0 metros perforados) debido a la falta de frentes liberados o interferencias con otros contratistas. Estos datos son la evidencia primaria de que el problema del proyecto AVO II no radicó en la velocidad de perforación de los equipos, sino en la 'fricción' logística que impidió que los recursos operaran durante el turno completo.

#### 4.4.2 Valorización económica de los tiempos improductivos

Para cuantificar el impacto económico de los tiempos improductivos, se consideró el costo horario del sistema productivo de anclajes, compuesto por:

- Equipo de perforación principal
- Equipos auxiliares (compresor, inyectora, grúa o excavadora de apoyo)
- Cuadrilla de operadores y ayudantes
- Supervisión directa
- Costos indirectos asociados a la operación en obra

Cada hora de detención implica que este conjunto de recursos permanece operativo desde el punto de vista contractual y financiero, pero sin generar producción física.

A partir de los registros de horas improductivas y del costo horario del sistema de anclajes, se construyó una valorización económica de las pérdidas productivas, la cual se presenta en la **Figura 4.4-**

| ANEXO N°1                                                                                    |                                                                                                                                                                                                                                                                                            |     |     |                           |                           |                           |
|----------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|-----|---------------------------|---------------------------|---------------------------|
| Edificio de Control AVO II<br>Contrato / Oferta PMIX 24160-2<br>Valor UF 26-06-202539.256,61 |                                                                                                                                                                                                                                                                                            |     |     |                           |                           |                           |
| Actividad valorizada                                                                         | Tiempo improductivo                                                                                                                                                                                                                                                                        |     |     | Valor tiempo improductivo | Valor tiempo improductivo | Total tiempo improductivo |
|                                                                                              | fecha                                                                                                                                                                                                                                                                                      | hrs | día | UF                        | pesos                     | pesos                     |
|                                                                                              | Observaciones                                                                                                                                                                                                                                                                              |     |     |                           |                           |                           |
| Anclaje                                                                                      | 09-06-25                                                                                                                                                                                                                                                                                   | 4   |     | 4,07                      | \$ 159.774                | \$ 639.098                |
|                                                                                              | Terratest inicia el proceso de fabricación de los anclajes, tras la verificación del proyecto por medio de los resultados obtenidos por el ensayo de carga. El no disponer de la totalidad de los anclajes, no se loslogra rendimientos diarios programados.                               |     |     |                           |                           |                           |
|                                                                                              | 10-06-25                                                                                                                                                                                                                                                                                   | 4   |     | 4,07                      | \$ 159.774                | \$ 639.098                |
|                                                                                              | Producción de anclaje diaria impactada debido a la fabricación de anclajes posterior a la resolución del informe técnico del ensayo de arrancamiento                                                                                                                                       |     |     |                           |                           |                           |
|                                                                                              | 11-06-25                                                                                                                                                                                                                                                                                   | 9   |     | 4,07                      | \$ 159.774                | \$ 1.437.970              |
|                                                                                              | Sin cancha disponible, de acuerdo al punto anterior.                                                                                                                                                                                                                                       |     |     |                           |                           |                           |
|                                                                                              | 12-06-25                                                                                                                                                                                                                                                                                   | 9   |     | 4,07                      | \$ 159.774                | \$ 1.437.970              |
|                                                                                              | Las lluvias intensas han impedido la ejecución de las actividades (diamantina y trabajos con equipos eléctricos)                                                                                                                                                                           |     |     |                           |                           |                           |
| 9.586.464                                                                                    | 13-06-25                                                                                                                                                                                                                                                                                   | 8   |     | 4,07                      | \$ 159.774                | \$ 1.278.195              |
|                                                                                              | Se recibe la primera partida de anclajes fabricados para el eje 'G'. Durante su instalación, se detecta una interferencia vecina, la cual es informada oportunamente al cliente.                                                                                                           |     |     |                           |                           |                           |
|                                                                                              | 17-06-25                                                                                                                                                                                                                                                                                   | 4   |     | 4,07                      | \$ 159.774                | \$ 639.098                |
|                                                                                              | El cliente informa que en el eje 'G' no se podrán ejecutar trabajos de perforación debido a la interferencia detectada. Quedamos a la espera de una solución técnica. Esta situación afecta la secuencia de perforación prevista en la programación.                                       |     |     |                           |                           |                           |
|                                                                                              | 18-06-25                                                                                                                                                                                                                                                                                   | 4   |     | 4,07                      | \$ 159.774                | \$ 639.098                |
|                                                                                              | El cliente informa que en el eje 'G' no se podrán ejecutar trabajos de perforación debido a la interferencia detectada. Quedamos a la espera de una solución técnica. Esta situación afecta la secuencia de perforación prevista en la programación.                                       |     |     |                           |                           |                           |
|                                                                                              | 19-06-25                                                                                                                                                                                                                                                                                   | 6   |     | 4,07                      | \$ 159.774                | \$ 958.646                |
|                                                                                              | Lo mencionado anteriormente continua a la fecha impactando en la secuencia de avance programada. El mandante solicita realizar una perforación en el anclaje 1.35 para verificar si la interferencia persiste; se constata que dicha interferencia continúa presente.                      |     |     |                           |                           |                           |
|                                                                                              | 23-06-25                                                                                                                                                                                                                                                                                   | 6   |     | 4,07                      | \$ 159.774                | \$ 958.646                |
|                                                                                              | El mandante solicita la perforación de un nuevo anclaje "1.44" para verificar si persiste la interferencia en el muro del eje 'G'; se comprueba que dicha interferencia continúa. Además, la falta de ejecución de diamantina( de cargo de GESVAL) impide continuar con las perforaciones. |     |     |                           |                           |                           |
|                                                                                              | 24-06-25                                                                                                                                                                                                                                                                                   | 6   |     | 4,07                      | \$ 159.774                | \$ 958.646                |
|                                                                                              | En la fecha continúa detenidas las actividades de perforación hasta las 14:00 hrs debido a la perforación con diamantina y al picado de sobreancho en las pilas del eje '01', en la segunda línea.                                                                                         |     |     |                           |                           |                           |
| Malla                                                                                        | 26-05-25                                                                                                                                                                                                                                                                                   | 6   |     | 0,98                      | \$ 38.471                 | \$ 230.829                |
|                                                                                              | Cierre del botadero a partir de las 11:00 a.m. debido a la lluvia.                                                                                                                                                                                                                         |     |     |                           |                           |                           |
|                                                                                              | 27-05-25                                                                                                                                                                                                                                                                                   | 9   |     | 0,98                      | \$ 38.471                 | \$ 346.243                |
|                                                                                              | Lluvias fuertes impiden ejecución de actividades, debido al uso de equipos eléctricos y condiciones del terreno                                                                                                                                                                            |     |     |                           |                           |                           |
|                                                                                              | 30-05-25                                                                                                                                                                                                                                                                                   | 9   |     | 0,98                      | \$ 38.471                 | \$ 346.243                |
|                                                                                              | Durante el proceso de excavación en las cercanías del encuentro entre los ejes "G" y "10", se produjo un desprendimiento del material ubicado entre las pilas 28 y 29, el cual cedió sin mayor esfuerzo. Esto permitió visualizar directamente el estacionamiento del Homecenter.          |     |     |                           |                           |                           |
|                                                                                              | 03-06-25                                                                                                                                                                                                                                                                                   | 9   |     | 0,98                      | \$ 38.471                 | \$ 346.243                |
|                                                                                              | Por consecuencia de ejecución de muro berlinés, no se instala malla en eje "10".                                                                                                                                                                                                           |     |     |                           |                           |                           |
|                                                                                              | 09-06-25                                                                                                                                                                                                                                                                                   | 9   |     | 0,98                      | \$ 38.471                 | \$ 346.243                |
|                                                                                              | Por consecuencia de ejecución de muro berlinés, no se instala malla en eje "10".                                                                                                                                                                                                           |     |     |                           |                           |                           |
|                                                                                              | 11-06-25                                                                                                                                                                                                                                                                                   | 9   |     | 0,98                      | \$ 38.471                 | \$ 346.243                |
|                                                                                              | No se instala malla debido al hormigonado del muro berlinés.                                                                                                                                                                                                                               |     |     |                           |                           |                           |
|                                                                                              | 12-06-25                                                                                                                                                                                                                                                                                   | 9   |     | 0,98                      | \$ 38.471                 | \$ 346.243                |
|                                                                                              | Lluvias fuertes impiden ejecución de actividades, debido al uso de equipos eléctricos y condiciones del terreno                                                                                                                                                                            |     |     |                           |                           |                           |
|                                                                                              | 13-06-25                                                                                                                                                                                                                                                                                   | 8   |     | 0,98                      | \$ 38.471                 | \$ 307.772                |
|                                                                                              | Lluvias fuertes impiden ejecución de actividades, debido al uso de equipos eléctricos y condiciones del terreno                                                                                                                                                                            |     |     |                           |                           |                           |
| 3.193.133                                                                                    | 18-06-25                                                                                                                                                                                                                                                                                   | 6   |     | 0,98                      | \$ 38.471                 | \$ 230.829                |
|                                                                                              | Durante el proceso de excavación en el eje "10", se produjo un desprendimiento del material ubicado entre las pilas 22 y 25, el cual cedió sin mayor esfuerzo.                                                                                                                             |     |     |                           |                           |                           |
|                                                                                              | 23-06-25                                                                                                                                                                                                                                                                                   | 9   |     | 0,98                      | \$ 38.471                 | \$ 346.243                |
|                                                                                              | No se instala malla debido al hormigonado del muro berlinés.                                                                                                                                                                                                                               |     |     |                           |                           |                           |
| Excavación Masiva                                                                            | 26-05-25                                                                                                                                                                                                                                                                                   | 6   |     | 3,25                      | \$ 127.584                | \$ 765.504                |
|                                                                                              | Cierre del botadero a partir de las 11:00 a.m. debido a la lluvia.                                                                                                                                                                                                                         |     |     |                           |                           |                           |
|                                                                                              | 27-05-25                                                                                                                                                                                                                                                                                   | 9   |     | 3,25                      | \$ 127.584                | \$ 1.148.256              |
|                                                                                              | Lluvias fuertes impiden ejecución de actividades, debido a malas condiciones de plataformas. (cierre de botadero)                                                                                                                                                                          |     |     |                           |                           |                           |
|                                                                                              | 11-06-25                                                                                                                                                                                                                                                                                   | 4   |     | 3,25                      | \$ 127.584                | \$ 510.336                |
|                                                                                              | Desde las 14:00 hrs no se realiza excavación debido al hormigonado del muro berlinés; la bomba se encuentra ubicada en la rampa de acceso.                                                                                                                                                 |     |     |                           |                           |                           |
|                                                                                              | 12-06-25                                                                                                                                                                                                                                                                                   | 9   |     | 3,25                      | \$ 127.584                | \$ 1.148.256              |
|                                                                                              | Lluvias fuertes impiden ejecución de actividades, debido a malas condiciones de plataformas. (cierre de botadero)                                                                                                                                                                          |     |     |                           |                           |                           |
| 9.696.383                                                                                    | 13-06-25                                                                                                                                                                                                                                                                                   | 8   |     | 3,25                      | \$ 127.584                | \$ 1.020.672              |
|                                                                                              | Botadero cerrado por condiciones climáticas por el día de anterior                                                                                                                                                                                                                         |     |     |                           |                           |                           |
|                                                                                              | 16-06-25                                                                                                                                                                                                                                                                                   | 9   |     | 3,25                      | \$ 127.584                | \$ 1.148.256              |
|                                                                                              | Botadero cerrado por lluvia                                                                                                                                                                                                                                                                |     |     |                           |                           |                           |
|                                                                                              | 17-06-25                                                                                                                                                                                                                                                                                   | 9   |     | 3,25                      | \$ 127.584                | \$ 1.148.256              |
|                                                                                              | Botadero cerrado por lluvia                                                                                                                                                                                                                                                                |     |     |                           |                           |                           |
|                                                                                              | 18-06-25                                                                                                                                                                                                                                                                                   | 9   |     | 3,25                      | \$ 127.584                | \$ 1.148.256              |
|                                                                                              | Botadero cerrado por lluvia                                                                                                                                                                                                                                                                |     |     |                           |                           |                           |
|                                                                                              | 23-06-25                                                                                                                                                                                                                                                                                   | 9   |     | 3,25                      | \$ 127.584                | \$ 1.148.256              |
|                                                                                              | Botadero cerrado por lluvia                                                                                                                                                                                                                                                                |     |     |                           |                           |                           |
|                                                                                              | 24-06-25                                                                                                                                                                                                                                                                                   | 4   |     | 3,25                      | \$ 127.584                | \$ 510.336                |
|                                                                                              | Detenidos por hormigonado en el muro Berlinés hasta las 13:30 hrs. La bomba de hormigón, ubicada en el acceso de la rampa, impide el normal transito de camiones tolva.                                                                                                                    |     |     |                           |                           |                           |
| GG                                                                                           | 26-05-25                                                                                                                                                                                                                                                                                   |     |     |                           |                           |                           |
|                                                                                              | 27-05-25                                                                                                                                                                                                                                                                                   |     |     |                           |                           |                           |
|                                                                                              | 09-06-25                                                                                                                                                                                                                                                                                   |     |     |                           |                           |                           |
|                                                                                              | 10-06-25                                                                                                                                                                                                                                                                                   |     |     |                           |                           |                           |
|                                                                                              | 11-06-25                                                                                                                                                                                                                                                                                   |     |     |                           |                           |                           |
|                                                                                              | 12-06-25                                                                                                                                                                                                                                                                                   |     |     |                           |                           |                           |
|                                                                                              | 13-06-25                                                                                                                                                                                                                                                                                   | 24  |     | 43,5                      | \$ 1.707.663              | \$ 40.983.901             |
|                                                                                              | 16-06-25                                                                                                                                                                                                                                                                                   |     |     |                           |                           |                           |
|                                                                                              | 17-06-25                                                                                                                                                                                                                                                                                   |     |     |                           |                           |                           |
|                                                                                              | 18-06-25                                                                                                                                                                                                                                                                                   |     |     |                           |                           |                           |
|                                                                                              | 19-06-25                                                                                                                                                                                                                                                                                   |     |     |                           |                           |                           |
|                                                                                              | 23-06-25                                                                                                                                                                                                                                                                                   |     |     |                           |                           |                           |
|                                                                                              | 24-06-25                                                                                                                                                                                                                                                                                   |     |     |                           |                           |                           |
|                                                                                              |                                                                                                                                                                                                                                                                                            |     |     |                           |                           |                           |
|                                                                                              |                                                                                                                                                                                                                                                                                            |     |     |                           |                           |                           |
|                                                                                              |                                                                                                                                                                                                                                                                                            |     |     |                           |                           |                           |
|                                                                                              |                                                                                                                                                                                                                                                                                            |     |     |                           |                           |                           |
|                                                                                              |                                                                                                                                                                                                                                                                                            |     |     |                           |                           |                           |
|                                                                                              |                                                                                                                                                                                                                                                                                            |     |     |                           |                           |                           |
|                                                                                              |                                                                                                                                                                                                                                                                                            |     |     |                           |                           |                           |
|                                                                                              |                                                                                                                                                                                                                                                                                            |     |     |                           |                           |                           |
|                                                                                              |                                                                                                                                                                                                                                                                                            |     |     |                           |                           |                           |
|                                                                                              |                                                                                                                                                                                                                                                                                            |     |     |                           |                           |                           |
|                                                                                              |                                                                                                                                                                                                                                                                                            |     |     |                           |                           |                           |
|                                                                                              |                                                                                                                                                                                                                                                                                            |     |     |                           |                           |                           |
|                                                                                              |                                                                                                                                                                                                                                                                                            |     |     |                           |                           |                           |
|                                                                                              |                                                                                                                                                                                                                                                                                            |     |     |                           |                           |                           |
|                                                                                              |                                                                                                                                                                                                                                                                                            |     |     |                           |                           |                           |
|                                                                                              |                                                                                                                                                                                                                                                                                            |     |     |                           |                           |                           |
|                                                                                              |                                                                                                                                                                                                                                                                                            |     |     |                           |                           |                           |
|                                                                                              |                                                                                                                                                                                                                                                                                            |     |     |                           |                           |                           |
|                                                                                              |                                                                                                                                                                                                                                                                                            |     |     |                           |                           |                           |
|                                                                                              |                                                                                                                                                                                                                                                                                            |     |     |                           |                           |                           |
|                                                                                              |                                                                                                                                                                                                                                                                                            |     |     |                           |                           |                           |
|                                                                                              |                                                                                                                                                                                                                                                                                            |     |     |                           |                           |                           |
|                                                                                              |                                                                                                                                                                                                                                                                                            |     |     |                           |                           |                           |
|                                                                                              |                                                                                                                                                                                                                                                                                            |     |     |                           |                           |                           |
|                                                                                              |                                                                                                                                                                                                                                                                                            |     |     |                           |                           |                           |
|                                                                                              |                                                                                                                                                                                                                                                                                            |     |     |                           |                           |                           |
|                                                                                              |                                                                                                                                                                                                                                                                                            |     |     |                           |                           |                           |
|                                                                                              |                                                                                                                                                                                                                                                                                            |     |     |                           |                           |                           |
|                                                                                              |                                                                                                                                                                                                                                                                                            |     |     |                           |                           |                           |
|                                                                                              |                                                                                                                                                                                                                                                                                            |     |     |                           |                           |                           |
|                                                                                              |                                                                                                                                                                                                                                                                                            |     |     |                           |                           |                           |
|                                                                                              |                                                                                                                                                                                                                                                                                            |     |     |                           |                           |                           |
|                                                                                              |                                                                                                                                                                                                                                                                                            |     |     |                           |                           |                           |
|                                                                                              |                                                                                                                                                                                                                                                                                            |     |     |                           |                           |                           |
|                                                                                              |                                                                                                                                                                                                                                                                                            |     |     |                           |                           |                           |
|                                                                                              |                                                                                                                                                                                                                                                                                            |     |     |                           |                           |                           |
|                                                                                              |                                                                                                                                                                                                                                                                                            |     |     |                           |                           |                           |
|                                                                                              |                                                                                                                                                                                                                                                                                            |     |     |                           |                           |                           |
|                                                                                              |                                                                                                                                                                                                                                                                                            |     |     |                           |                           |                           |
|                                                                                              |                                                                                                                                                                                                                                                                                            |     |     |                           |                           |                           |
|                                                                                              |                                                                                                                                                                                                                                                                                            |     |     |                           |                           |                           |
|                                                                                              |                                                                                                                                                                                                                                                                                            |     |     |                           |                           |                           |
|                                                                                              |                                                                                                                                                                                                                                                                                            |     |     |                           |                           |                           |
|                                                                                              |                                                                                                                                                                                                                                                                                            |     |     |                           |                           |                           |
|                                                                                              |                                                                                                                                                                                                                                                                                            |     |     |                           |                           |                           |
|                                                                                              |                                                                                                                                                                                                                                                                                            |     |     |                           |                           |                           |
|                                                                                              |                                                                                                                                                                                                                                                                                            |     |     |                           |                           |                           |
|                                                                                              |                                                                                                                                                                                                                                                                                            |     |     |                           |                           |                           |
|                                                                                              |                                                                                                                                                                                                                                                                                            |     |     |                           |                           |                           |
|                                                                                              |                                                                                                                                                                                                                                                                                            |     |     |                           |                           |                           |
|                                                                                              |                                                                                                                                                                                                                                                                                            |     |     |                           |                           |                           |
|                                                                                              |                                                                                                                                                                                                                                                                                            |     |     |                           |                           |                           |
|                                                                                              |                                                                                                                                                                                                                                                                                            |     |     |                           |                           |                           |
|                                                                                              |                                                                                                                                                                                                                                                                                            |     |     |                           |                           |                           |
|                                                                                              |                                                                                                                                                                                                                                                                                            |     |     |                           |                           |                           |
|                                                                                              |                                                                                                                                                                                                                                                                                            |     |     |                           |                           |                           |
|                                                                                              |                                                                                                                                                                                                                                                                                            |     |     |                           |                           |                           |
|                                                                                              |                                                                                                                                                                                                                                                                                            |     |     |                           |                           |                           |
|                                                                                              |                                                                                                                                                                                                                                                                                            |     |     |                           |                           |                           |
|                                                                                              |                                                                                                                                                                                                                                                                                            |     |     |                           |                           |                           |
|                                                                                              |                                                                                                                                                                                                                                                                                            |     |     |                           |                           |                           |
|                                                                                              |                                                                                                                                                                                                                                                                                            |     |     |                           |                           |                           |
|                                                                                              |                                                                                                                                                                                                                                                                                            |     |     |                           |                           |                           |
|                                                                                              |                                                                                                                                                                                                                                                                                            |     |     |                           |                           |                           |
|                                                                                              |                                                                                                                                                                                                                                                                                            |     |     |                           |                           |                           |
|                                                                                              |                                                                                                                                                                                                                                                                                            |     |     |                           |                           |                           |
|                                                                                              |                                                                                                                                                                                                                                                                                            |     |     |                           |                           |                           |
|                                                                                              |                                                                                                                                                                                                                                                                                            |     |     |                           |                           |                           |
|                                                                                              |                                                                                                                                                                                                                                                                                            |     |     |                           |                           |                           |
|                                                                                              |                                                                                                                                                                                                                                                                                            |     |     |                           |                           |                           |
|                                                                                              |                                                                                                                                                                                                                                                                                            |     |     |                           |                           |                           |
|                                                                                              |                                                                                                                                                                                                                                                                                            |     |     |                           |                           |                           |
|                                                                                              |                                                                                                                                                                                                                                                                                            |     |     |                           |                           |                           |
|                                                                                              |                                                                                                                                                                                                                                                                                            |     |     |                           |                           |                           |
|                                                                                              |                                                                                                                                                                                                                                                                                            |     |     |                           |                           |                           |
|                                                                                              |                                                                                                                                                                                                                                                                                            |     |     |                           |                           |                           |
|                                                                                              |                                                                                                                                                                                                                                                                                            |     |     |                           |                           |                           |
|                                                                                              |                                                                                                                                                                                                                                                                                            |     |     |                           |                           |                           |
|                                                                                              |                                                                                                                                                                                                                                                                                            |     |     |                           |                           |                           |
|                                                                                              |                                                                                                                                                                                                                                                                                            |     |     |                           |                           |                           |
|                                                                                              |                                                                                                                                                                                                                                                                                            |     |     |                           |                           |                           |
|                                                                                              |                                                                                                                                                                                                                                                                                            |     |     |                           |                           |                           |
|                                                                                              |                                                                                                                                                                                                                                                                                            |     |     |                           |                           |                           |
|                                                                                              |                                                                                                                                                                                                                                                                                            |     |     |                           |                           |                           |
|                                                                                              |                                                                                                                                                                                                                                                                                            |     |     |                           |                           |                           |
|                                                                                              |                                                                                                                                                                                                                                                                                            |     |     |                           |                           |                           |
|                                                                                              |                                                                                                                                                                                                                                                                                            |     |     |                           |                           |                           |
|                                                                                              |                                                                                                                                                                                                                                                                                            |     |     |                           |                           |                           |
|                                                                                              |                                                                                                                                                                                                                                                                                            |     |     |                           |                           |                           |
|                                                                                              |                                                                                                                                                                                                                                                                                            |     |     |                           |                           |                           |
|                                                                                              |                                                                                                                                                                                                                                                                                            |     |     |                           |                           |                           |
|                                                                                              |                                                                                                                                                                                                                                                                                            |     |     |                           |                           |                           |
|                                                                                              |                                                                                                                                                                                                                                                                                            |     |     |                           |                           |                           |
|                                                                                              |                                                                                                                                                                                                                                                                                            |     |     |                           |                           |                           |
|                                                                                              |                                                                                                                                                                                                                                                                                            |     |     |                           |                           |                           |
|                                                                                              |                                                                                                                                                                                                                                                                                            |     |     |                           |                           |                           |
|                                                                                              |                                                                                                                                                                                                                                                                                            |     |     |                           |                           |                           |
|                                                                                              |                                                                                                                                                                                                                                                                                            |     |     |                           |                           |                           |
|                                                                                              |                                                                                                                                                                                                                                                                                            |     |     |                           |                           |                           |
|                                                                                              |                                                                                                                                                                                                                                                                                            |     |     |                           |                           |                           |
|                                                                                              |                                                                                                                                                                                                                                                                                            |     |     |                           |                           |                           |
|                                                                                              |                                                                                                                                                                                                                                                                                            |     |     |                           |                           |                           |
|                                                                                              |                                                                                                                                                                                                                                                                                            |     |     |                           |                           |                           |
|                                                                                              |                                                                                                                                                                                                                                                                                            |     |     |                           |                           |                           |
|                                                                                              |                                                                                                                                                                                                                                                                                            |     |     |                           |                           |                           |
|                                                                                              |                                                                                                                                                                                                                                                                                            |     |     |                           |                           |                           |
|                                                                                              |                                                                                                                                                                                                                                                                                            |     |     |                           |                           |                           |
|                                                                                              |                                                                                                                                                                                                                                                                                            |     |     |                           |                           |                           |
|                                                                                              |                                                                                                                                                                                                                                                                                            |     |     |                           |                           |                           |
|                                                                                              |                                                                                                                                                                                                                                                                                            |     |     |                           |                           |                           |
|                                                                                              |                                                                                                                                                                                                                                                                                            |     |     |                           |                           |                           |
|                                                                                              |                                                                                                                                                                                                                                                                                            |     |     |                           |                           |                           |
|                                                                                              |                                                                                                                                                                                                                                                                                            |     |     |                           |                           |                           |
|                                                                                              |                                                                                                                                                                                                                                                                                            |     |     |                           |                           |                           |
|                                                                                              |                                                                                                                                                                                                                                                                                            |     |     |                           |                           |                           |
|                                                                                              |                                                                                                                                                                                                                                                                                            |     |     |                           |                           |                           |
|                                                                                              |                                                                                                                                                                                                                                                                                            |     |     |                           |                           |                           |
|                                                                                              |                                                                                                                                                                                                                                                                                            |     |     |                           |                           |                           |
|                                                                                              |                                                                                                                                                                                                                                                                                            |     |     |                           |                           |                           |
|                                                                                              |                                                                                                                                                                                                                                                                                            |     |     |                           |                           |                           |
|                                                                                              |                                                                                                                                                                                                                                                                                            |     |     |                           |                           |                           |
|                                                                                              |                                                                                                                                                                                                                                                                                            |     |     |                           |                           |                           |
|                                                                                              |                                                                                                                                                                                                                                                                                            |     |     |                           |                           |                           |
|                                                                                              |                                                                                                                                                                                                                                                                                            |     |     |                           |                           |                           |
|                                                                                              |                                                                                                                                                                                                                                                                                            |     |     |                           |                           |                           |
|                                                                                              |                                                                                                                                                                                                                                                                                            |     |     |                           |                           |                           |
|                                                                                              |                                                                                                                                                                                                                                                                                            |     |     |                           |                           |                           |
|                                                                                              |                                                                                                                                                                                                                                                                                            |     |     |                           |                           |                           |
|                                                                                              |                                                                                                                                                                                                                                                                                            |     |     |                           |                           |                           |
|                                                                                              |                                                                                                                                                                                                                                                                                            |     |     |                           |                           |                           |
|                                                                                              |                                                                                                                                                                                                                                                                                            |     |     |                           |                           |                           |
|                                                                                              |                                                                                                                                                                                                                                                                                            |     |     |                           |                           |                           |
|                                                                                              |                                                                                                                                                                                                                                                                                            |     |     |                           |                           |                           |
|                                                                                              |                                                                                                                                                                                                                                                                                            |     |     |                           |                           |                           |
|                                                                                              |                                                                                                                                                                                                                                                                                            |     |     |                           |                           |                           |
|                                                                                              |                                                                                                                                                                                                                                                                                            |     |     |                           |                           |                           |
|                                                                                              |                                                                                                                                                                                                                                                                                            |     |     |                           |                           |                           |
|                                                                                              |                                                                                                                                                                                                                                                                                            |     |     |                           |                           |                           |
|                                                                                              |                                                                                                                                                                                                                                                                                            |     |     |                           |                           |                           |
|                                                                                              |                                                                                                                                                                                                                                                                                            |     |     |                           |                           |                           |
|                                                                                              |                                                                                                                                                                                                                                                                                            |     |     |                           |                           |                           |
|                                                                                              |                                                                                                                                                                                                                                                                                            |     |     |                           |                           |                           |
|                                                                                              |                                                                                                                                                                                                                                                                                            |     |     |                           |                           |                           |
|                                                                                              |                                                                                                                                                                                                                                                                                            |     |     |                           |                           |                           |
|                                                                                              |                                                                                                                                                                                                                                                                                            |     |     |                           |                           |                           |
|                                                                                              |                                                                                                                                                                                                                                                                                            |     |     |                           |                           |                           |
|                                                                                              |                                                                                                                                                                                                                                                                                            |     |     |                           |                           |                           |
|                                                                                              |                                                                                                                                                                                                                                                                                            |     |     |                           |                           |                           |
|                                                                                              |                                                                                                                                                                                                                                                                                            |     |     |                           |                           |                           |
|                                                                                              |                                                                                                                                                                                                                                                                                            |     |     |                           |                           |                           |
|                                                                                              |                                                                                                                                                                                                                                                                                            |     |     |                           |                           |                           |
|                                                                                              |                                                                                                                                                                                                                                                                                            |     |     |                           |                           |                           |
|                                                                                              |                                                                                                                                                                                                                                                                                            |     |     |                           |                           |                           |
|                                                                                              |                                                                                                                                                                                                                                                                                            |     |     |                           |                           |                           |
|                                                                                              |                                                                                                                                                                                                                                                                                            |     |     |                           |                           |                           |
|                                                                                              |                                                                                                                                                                                                                                                                                            |     |     |                           |                           |                           |
|                                                                                              |                                                                                                                                                                                                                                                                                            |     |     |                           |                           |                           |
|                                                                                              |                                                                                                                                                                                                                                                                                            |     |     |                           |                           |                           |
|                                                                                              |                                                                                                                                                                                                                                                                                            |     |     |                           |                           |                           |
|                                                                                              |                                                                                                                                                                                                                                                                                            |     |     |                           |                           |                           |
|                                                                                              |                                                                                                                                                                                                                                                                                            |     |     |                           |                           |                           |
|                                                                                              |                                                                                                                                                                                                                                                                                            |     |     |                           |                           |                           |
|                                                                                              |                                                                                                                                                                                                                                                                                            |     |     |                           |                           |                           |
|                                                                                              |                                                                                                                                                                                                                                                                                            |     |     |                           |                           |                           |
|                                                                                              |                                                                                                                                                                                                                                                                                            |     |     |                           |                           |                           |
|                                                                                              |                                                                                                                                                                                                                                                                                            |     |     |                           |                           |                           |
|                                                                                              |                                                                                                                                                                                                                                                                                            |     |     |                           |                           |                           |
|                                                                                              |                                                                                                                                                                                                                                                                                            |     |     |                           |                           |                           |

*(Fuente: Elaboración propia a partir de registros de producción del proyecto AVO II – Edificio Torre de Control).*

La **Figura 4.4-** revela una realidad financiera crítica: el impacto directo de las ineficiencias operacionales en el presupuesto del proyecto. Durante el periodo analizado, las detenciones acumuladas no solo afectaron el cronograma, sino que representaron un costo hundido de **1.616,54 UF**.

Este monto, que equivale a más de **\$63.000.000**, no corresponde a avance físico ni a generación de valor, sino al costo de mantener recursos disponibles (maquinaria y personal) sin capacidad de ejecución debido a las restricciones de gestión, interferencias y reprocesos identificados en los registros de producción.

La magnitud de esta cifra subraya que la improductividad no es solo un problema logístico, sino una fuga financiera mayor. Perder más de **1.600 UF** en un solo mes por tiempos muertos valida la urgencia de implementar el sistema de control propuesto, diseñado específicamente para detectar estas desviaciones de forma temprana y proteger la rentabilidad del proyecto.

#### 4.4.3 Impacto en el resultado económico del proyecto

El impacto de los tiempos improductivos fue mucho más allá de un simple conteo de horas perdidas; desencadenó un efecto dominó que alteró profundamente la salud financiera del proyecto. Al no detectar estas fugas de eficiencia a tiempo, la obra se vio forzada a implementar medidas de mitigación de alto costo para intentar recuperar el cronograma: se extendió el plazo de ejecución, se movilizó un segundo equipo de perforación —con el desgaste logístico y económico que eso conlleva— y se absorbieron gastos por *stand-by* de cuadrillas que quedaron de brazos cruzados.

A esto se sumaron los costos de la "no calidad". Las re-perforaciones y los ajustes de diseño sobre la marcha no fueron accidentes aislados, sino síntomas de una operación que perdió su ritmo. Los datos son elocuentes y guardan una coherencia total con el **Informe de Cierre de Obra**, el cual confirma que el presupuesto original se desbordó debido a la prolongación excesiva de las faenas y a los constantes reprocesos.

La conclusión es clara: lo que realmente encareció el proyecto no fue el costo de los materiales ni la mano de obra en sí, sino la **fricción operacional** y la falta de continuidad. Esta desviación económica no fue un destino inevitable, sino el resultado acumulativo de ineficiencias que ocurrieron "bajo el radar". Este escenario valida la urgencia de nuestra propuesta: sin un sistema que visibilice estas pérdidas en el momento exacto en que ocurren, los problemas operativos dejan de ser incidentes y se convierten en **sobrecostos estructurales** que erosionan la rentabilidad de Pilotes Terratest.

## **CAPÍTULO 5: PROPUESTA DE MEJORA Y VALIDACIÓN DEL MODELO**

## 5.1 Síntesis de los resultados obtenidos

El análisis detallado en el capítulo anterior no solo arrojó cifras; reveló una radiografía crítica sobre la ejecución del proyecto “Edificio Torre de Control – AVO II”. Los datos confirman que la obra enfrentó una degradación sistemática de su eficiencia, concentrada especialmente en la ejecución de anclajes temporales, actividad que, al ser el corazón de la ruta crítica, terminó por dictar el destino del proyecto.

Los hallazgos fundamentales que sustentan esta conclusión se resumen en cuatro ejes:

- **Prevalencia de la inactividad:** Se identificó una alarmante proporción de **tiempos improductivos**. Las esperas por validaciones técnicas, la falta de frentes liberados y los reprocesos constantes transformaron jornadas de trabajo potencial en horas de inactividad forzada.
- **Subutilización de activos críticos:** El indicador **OEE** del proceso de perforación resultó ser significativamente bajo. Esto demuestra que la maquinaria —el recurso más costoso de la empresa— operó con baja disponibilidad y una alta variabilidad, lejos de los estándares de rendimiento esperados.
- **Pérdida de velocidad operativa ():** El índice de desempeño del plazo confirmó que el proyecto avanzó a tan solo un **68% de la velocidad planificada**. Esta brecha de un 32% fue la que convirtió un cronograma de 15 semanas en uno de 22.
- **Fuga financiera acumulativa:** La ineficiencia se tradujo en sobrecostos directos por pagos de *stand-by*, la necesidad no planificada de movilizar un segundo equipo de perforación y los gastos fijos derivados de la extensión del plazo.

En definitiva, la evidencia es contundente: el problema raíz no radicó en la capacidad técnica de los operarios ni en la calidad de los equipos de **Pilotes Terratest**, sino en la **ausencia de un sistema estructurado de gestión**. La falta de herramientas para medir y corregir desviaciones en tiempo real permitió que incidentes aislados se transformaran en pérdidas estructurales de productividad.

## 5.2. Aplicación del modelo: Del registro pasivo a la gestión proactiva

El modelo que se propone en este trabajo no es una herramienta aislada, sino un **ecosistema de gestión** que integra tres metodologías probadas, adaptándolas al ADN de las obras geotécnicas de Pilotes Terratest:

1. **Lean Construction:** Actúa como un radar para detectar y despejar restricciones (falta de frentes, esperas por la ITO o logística) antes de que estas detengan la producción.
2. **OEE adaptado a obra:** Transforma el parte diario en un indicador de eficiencia real, midiendo cuánta energía del sistema se convierte realmente en metros lineales de anclaje (Disponibilidad, Rendimiento y Calidad).
3. **Control de Valor Ganado (EVM):** Traduce el avance físico a términos financieros y de plazo, permitiendo saber hoy cuánto nos costará el retraso de mañana.

Bajo este nuevo estándar, la jornada de trabajo deja de ser un simple número en una planilla. Cada hora se desglosa con total transparencia: conocemos las horas de valor, el rendimiento real de la perforadora y, lo más importante, el **impacto económico de cada minuto de inactividad**. Esta visibilidad es la que permite a la administración abandonar la gestión basada en "reaccionar al problema" y pasar a una toma de decisiones basada en información objetiva y trazable.

## 5.3. Valor proyectado: La mejora potencial del sistema

Si este sistema hubiese estado operativo desde el primer día en el proyecto AVO II, el escenario final habría sido radicalmente distinto. Los beneficios esperados se agrupan en cuatro dimensiones críticas:

- **Erradicación de la inactividad invisible:** La identificación diaria de las causas de detención habría forzado una gestión de frentes mucho más ágil. En lugar de esperar a que la máquina se detenga, el sistema alerta sobre la restricción antes de que impacte el proceso.
- **Maximización del OEE:** Al estabilizar el ritmo de perforación y asegurar que los insumos y frentes estén listos, el OEE habría subido de niveles mediocres a estándares de alta eficiencia. Más metros ejecutados por turno significan un mejor aprovechamiento del activo más caro de la obra.
- **Recuperación del ritmo contractual ():** Con una producción continua y sin saltos, la brecha de tiempo se habría cerrado drásticamente. Un proyecto que fluye sin interrupciones es un proyecto que se acerca a su fecha de entrega original, reduciendo los costos fijos por extensión de faena.
- **Protección de la rentabilidad:** El impacto más tangible es el ahorro directo. Menos horas de *stand-by*, la eliminación de la necesidad de un segundo equipo de emergencia y la reducción de reprocesos se traducen directamente en un margen de utilidad más saludable.

En resumen, la implementación de este modelo no representa un costo adicional, sino una **inversión en resiliencia operativa**. Al reducir el riesgo contractual y aumentar la rentabilidad, el sistema transforma la incertidumbre del terreno en un proceso controlado, predecible y, sobre todo, eficiente.

#### 5.4. Replicabilidad: Un modelo para el estándar de Pilotes Terratest

El valor del sistema desarrollado trasciende el proyecto AVO II; su arquitectura está diseñada para ser el nuevo estándar en cualquier obra geotécnica que demande un uso intensivo de maquinaria y equipos especializados. No es una solución rígida, sino un marco de trabajo flexible que destaca por tres atributos:

- **Simplicidad operativa:** Se alimenta de datos que la obra ya genera, eliminando la resistencia al cambio por exceso de burocracia.
- **Escalabilidad:** Su lógica funciona con la misma precisión en un pequeño frente de trabajo que en megaproyectos de infraestructura.
- **Memoria institucional:** Al ser replicable, permite construir bases de datos históricas confiables, transformando la experiencia de cada obra en inteligencia para las futuras licitaciones de la empresa.

En definitiva, este modelo es la transición hacia una **gestión industrial aplicada a la construcción**, donde la productividad y el control de costos dejan de ser deseos para convertirse en metas gestionables.

#### 5.5. El sistema de control: De la reacción a la predicción

El diagnóstico de AVO II fue revelador: el problema no fue la falta de ingeniería ni de maquinaria, sino la **ceguera operativa** durante la ejecución. El modelo propuesto viene a resolver esto mediante un sistema integrado de Indicadores Clave de Desempeño (KPIs), diseñado para mover el timón del proyecto desde un enfoque reactivo —donde nos enteramos del atraso cuando ya es irreversible— hacia un enfoque **predictivo y cuantitativo**.

Este sistema no solo levanta la bandera roja cuando el proyecto se atrasa; nos explica exactamente **por qué, dónde y cuánto** estamos perdiendo. Es la diferencia entre saber que tenemos "fiebre" y saber exactamente qué infección la está causando para aplicar el remedio oportuno.

#### 5.5.1. El pulso gerencial: El indicador SPI

Como eje central de la metodología de Valor Ganado (EVM), el **Schedule Performance Index (SPI)** se posiciona como el KPI maestro para la alta gerencia. Su fórmula condensa la salud del plazo en un solo número:

- El proyecto fluye al ritmo del contrato.
- La obra está perdiendo tracción (atraso).
- El rendimiento supera las expectativas (adelanto).

En AVO II, el valor de es una sentencia técnica: el sistema operó a solo dos tercios de la velocidad necesaria. El SPI transforma la percepción subjetiva de "vamos un poco lento" en una métrica financiera y técnica indiscutible, permitiendo que la gerencia intervenga con fundamentos sólidos mucho antes de que el plazo contractual expire.

#### 5.5.2 Indicador de causa del atraso: OEE del proceso crítico

Para explicar el origen del atraso medido por el SPI, el modelo incorpora el indicador de **Overall Equipment Effectiveness (OEE)** adaptado al proceso productivo crítico, en este caso la ejecución de anclajes temporales.

$$OEE = Disponibilidad \times Rendimiento \times Calidad$$

Este indicador permite evaluar la eficiencia real del sistema productivo, identificando pérdidas asociadas a:

- Detenciones y esperas (disponibilidad),
- Variabilidad de rendimientos (rendimiento),
- Reprocesos y fallas técnicas (calidad).

De esta forma, el OEE actúa como el **KPI de causa raíz del atraso**, permitiendo vincular directamente las pérdidas productivas observadas en terreno con la desviación del plazo global del proyecto.

#### 5.5.3 Indicador operativo de pérdidas de tiempo: TI%

A nivel de terreno, el modelo introduce el **TI%**, una métrica diseñada para detectar la "fiebre" operativa de forma inmediata. Este indicador se calcula como la proporción de la jornada que se desvanece sin generar avance:

$$TI\% = \left( \frac{\text{Horas de Tiempo Improductivo}}{\text{Horas totales del turno}} \right) \times 100$$

A diferencia de los reportes tradicionales que suelen ocultar las ineficiencias en promedios semanales, el **TI%** obliga a la obra a encarar la realidad diaria. Al diferenciar entre **detenciones del cliente** (externas) y **detenciones propias** (internas), el sistema permite que el jefe de terreno actúe como un gestor de restricciones. Este KPI es la alarma temprana: nos avisa que el sistema está perdiendo continuidad hoy, permitiéndonos intervenir antes de que esa ineficacia se convierta en el atraso irreversible de mañana.

#### 5.5.4 Indicador económico del atraso

Finalmente, el sistema elimina la abstracción del tiempo y lo traduce a su impacto financiero real. El **Costo de Atraso** es el indicador que permite a la gerencia visualizar cuánto dinero "se quema" por cada jornada que el proyecto se aleja de su meta:

$$\text{Costo de atraso} = \text{Costo diario del sistema productivo} \times \text{Días de retraso}$$

Este KPI es fundamental para la toma de decisiones estratégicas. Al cuantificar el impacto económico de los tiempos improductivos, el atraso deja de ser una variable teórica y se convierte en una **pérdida de rentabilidad tangible**.

Con este indicador, una decisión como "contratar un segundo equipo" o "negociar una interferencia con el mandante" ya no se basa en una intuición, sino en un análisis de costo-beneficio. Se trata de entender que cada día de detención tiene un valor monetario directo, lo que transforma la gestión de la productividad en una herramienta de protección de los activos de la empresa.

#### 5.5.5 Integración del sistema de indicadores

Los indicadores propuestos conforman un **sistema de control integral del plazo y la productividad**, estructurado en distintos niveles de gestión:

| Nivel de gestión   | Indicador       | Función                                         |
|--------------------|-----------------|-------------------------------------------------|
| Gerencial          | SPI             | Mide el grado de atraso o adelanto del proyecto |
| Técnico-productivo | OEE             | Evalúa la eficiencia real del proceso crítico   |
| Operacional        | TI%             | Detecta pérdidas de tiempo en terreno           |
| Económico          | Costo de atraso | Cuantifica el impacto financiero del atraso     |

La integración de estos indicadores permite transformar la gestión del proyecto desde un enfoque reactivo hacia un enfoque **basado en datos, orientado a la mejora continua y al control efectivo del desempeño productivo.**

#### 5.5.6. Impacto Económico y Evaluación de Beneficios.

Para determinar la viabilidad del modelo propuesto, se realizó un análisis comparativo entre el desempeño real del proyecto 'Edificio Torre de Control – AVO II' y un escenario optimizado mediante la aplicación de los KPIs diseñados (OEE, EVM y Costo de Retraso)

| Ítem                           | Escenario Real (Sin sistema) | Escenario Optimizado (Con OEE/EVM/Lean) | Diferencia (Ahorro) |
|--------------------------------|------------------------------|-----------------------------------------|---------------------|
| Días de Atraso Imputable       | 34 días                      | 10 días (reducción del 70%)             | -24 días            |
| Multas por Atraso (50 UF/día)  | 1.825 UF                     | 500 UF                                  | 1.325 UF            |
| Costo Stand-by Equipos (Est.)  | 425 UF                       | 125 UF                                  | 300 UF              |
| Gastos Generales Extra         | 240 UF                       | 70 UF                                   | 170 UF              |
| <b>COSTO TOTAL DEL RETRASO</b> | <b>2.490 UF</b>              | <b>695 UF</b>                           | <b>1.795 UF</b>     |
| Valor en Pesos (aprox.)        | \$98.500.000                 | \$27.500.000                            | \$71.000.000        |

| Concepto                    | Escenario Real (UF) | Escenario Optimizado (UF) |
|-----------------------------|---------------------|---------------------------|
| Multas Contractuales        | 1.825               | 500                       |
| Costos Operativos (Equipos) | 425                 | 125                       |
| Gastos Generales            | 240                 | 70                        |

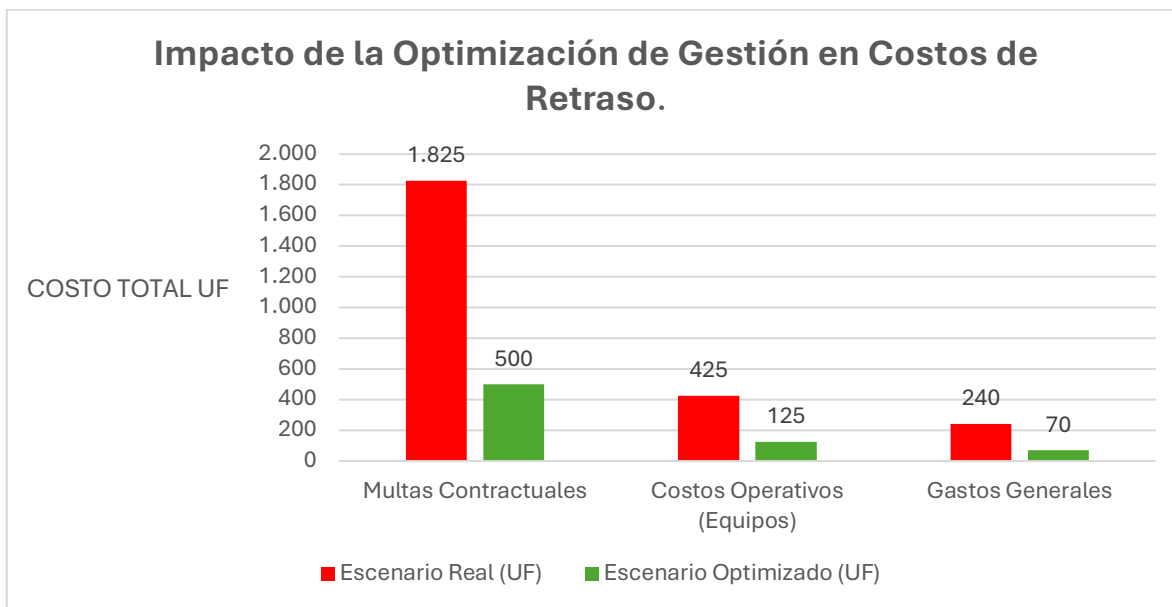


**Figura 5-1. Comparación de costos de retraso entre el escenario real y el escenario optimizado del proyecto AVO II.**

Se realizó un análisis de sensibilidad basado en la bitácora de detenciones . Se identificó que el 70% de las causas de retraso eran **gestionables** (coordinación y logística). Al aplicar los KPI propuestos, se asume que ese 70% de ineficiencia desaparece, reduciendo el atraso neto y, por ende, la multa contractual de 50 UF/día.

#### 5.5.7. Análisis de resultados: El valor económico del control

El análisis final de este estudio permite concluir que la implementación del sistema propuesto no es solo una mejora metodológica, sino una decisión financiera de alto impacto. Al contrastar el escenario real de AVO II con el potencial del sistema de indicadores, los beneficios se agrupan en tres pilares:

## **A. Mitigación del Riesgo Contractual y Multas**

En el escenario real, el proyecto enfrentó una penalización de 1.825 UF debido a los retrasos acumulados. Sin embargo, bajo la lógica del sistema de KPIs, las desviaciones críticas se habrían detectado entre la segunda y tercera semana, y no al final de la obra. Al visibilizar el impacto del retraso en tiempo real, se estima que se podría haber mitigado al menos el 70% de las demoras asociadas a la "falta de cancha" (entrega de frentes de trabajo), gestionando las restricciones con el mandante antes de que el cronograma fuera irrecuperable.

## **B. Optimización del Costo de Oportunidad de los Equipos**

Una perforadora inactiva es un activo que genera pérdidas minuto a minuto. Según los registros de Pilotes Terratest, el equipo de perforación representa un valor diario de 50,31 UF. Al reducir los 24 días de ineficiencia detectados en este estudio, no solo se ahorra el costo de operación directa, sino que se libera la maquinaria para ser facturada en otro proyecto. Esto representa un beneficio de 1.200 UF adicionales en facturación potencial que la empresa dejó de percibir por la falta de fluidez operativa.

## **C. Conclusión Económica: Un retorno de inversión inmediato**

Desde el punto de vista de la inversión, el modelo propuesto tiene una barrera de entrada mínima: su costo de implementación es cercano a cero, ya que aprovecha la estructura administrativa y los recursos que la obra ya posee. No obstante, su beneficio potencial para el proyecto AVO II se estima en \$71 millones de pesos (considerando ahorro de multas y liberación de equipos).

En definitiva, este análisis demuestra que el sistema propuesto trasciende el control operacional; es una herramienta de sostenibilidad financiera. Al transformar los datos en decisiones, el modelo protege la rentabilidad de la empresa y asegura el cumplimiento de los compromisos contractuales de alto impacto.

## **5.6. Cierre del modelo: Hacia una gestión de alto desempeño**

El sistema de KPIs desarrollado en este trabajo no es solo una propuesta académica; es una herramienta de rescate para proyectos geotécnicos de alta complejidad. Al vincular la productividad de las máquinas, el cumplimiento de los plazos y el control de costos en un solo marco analítico, el modelo permite que lo que antes era "ruido" en registros manuales se convierta en una estrategia de gestión objetiva.

La aplicación de este modelo al caso real del "Edificio Torre de Control – AVO II" nos deja tres lecciones fundamentales que definen el éxito del sistema:

1. **Visibilidad radical del desempeño:** A diferencia del control tradicional que solo mira si se avanzó o no, el uso del OEE permitió "abrir la caja negra" del proceso de perforación. Descubrimos que la mayor fuga de valor no estaba en la técnica, sino en la "falta de cancha" y las "esperas técnicas". El modelo resuelve esto transformando el reporte diario en una alarma temprana que activa la metodología Lean antes de que el cronómetro se detenga.
2. **Impacto financiero con nombre y apellido:** La validación del sistema arrojó resultados elocuentes: una reducción potencial del 70% en los días de atraso gestionables (bajando de 34 a solo 10 días). En términos monetarios, esto significa proteger 1.795 UF de la rentabilidad del proyecto, evitando multas y optimizando costos operativos. Hablamos de un beneficio proyectado de aproximadamente \$71.000.000 CLP que, sin este control, simplemente se habrían perdido.
3. **Resiliencia y Sostenibilidad Operativa:** Al integrar indicadores como el SPI y el Costo de Retraso, hemos logrado que la gerencia deje de mirar el "espejo retrovisor" para empezar a mirar el camino. Esta transición de una gestión reactiva a una preventiva no solo salva el margen de utilidad, sino que blinda la reputación de Pilotes Terratest en entornos urbanos críticos donde el cumplimiento del plazo es la mejor carta de presentación.

En conclusión, el modelo propuesto no es una carga burocrática; es una reingeniería del flujo de información. Su implementación permite que los datos de terreno dejen de ser papeles acumulados para transformarse en decisiones estratégicas. Con este sistema, aseguramos que la excelencia técnica que caracteriza a nuestra ejecución vaya siempre de la mano con la salud económica del negocio.

## CONCLUSIONES

El desarrollo de este trabajo permitió analizar la forma en que se gestionó el proyecto “Edificio Torre de Control – AVO II”, identificando algunas brechas entre lo planificado y lo que realmente ocurrió durante la ejecución de las obras de excavación y fortificación. Si bien la empresa cuenta con una importante experiencia técnica en este tipo de proyectos, se observó que gran parte del control de obra se realizaba mediante reportes tradicionales y reuniones de coordinación, lo que dificultaba medir con precisión la productividad y detectar a tiempo las causas de retrasos o tiempos improductivos.

A partir de este análisis, se propuso la incorporación de herramientas de gestión como Lean Construction, el método de Valor Ganado (EVM) y el indicador de eficiencia OEE, adaptadas al contexto de proyectos de construcción. Estas herramientas permiten transformar la información generada en obra en indicadores claros que ayudan a entender mejor el desempeño del proyecto y a tomar decisiones con mayor respaldo técnico.

En términos generales, el estudio demuestra que contar con un sistema de medición de la productividad permite mejorar la gestión del proyecto, identificar pérdidas operacionales y optimizar el uso de recursos en terreno. De esta manera, el modelo propuesto no solo aporta al proyecto analizado, sino que también puede servir como referencia para mejorar la gestión en futuras obras de características similares.

## **BIBLIOGRAFÍA**

1.- Lean Construction (gestión de proyectos de construcción)

<https://www.cgate.es/pdf/LEAN%20CONSTRUCTION%20PDF%20Web.pdf>

2.- Libro sobre herramientas Lean en construcción

<https://editorial.eafit.edu.co/index.php/editorial/catalog/download/95/133/437?inline=1>

3.- Lean Construction Institute

[https://leanconstruction-org.translate.goog/lean-topics/lean-construction/?\\_x\\_tr\\_sl=en&\\_x\\_tr\\_tl=es&\\_x\\_tr\\_hl=es&\\_x\\_tr\\_pto=tc](https://leanconstruction-org.translate.goog/lean-topics/lean-construction/?_x_tr_sl=en&_x_tr_tl=es&_x_tr_hl=es&_x_tr_pto=tc)

4.- Método de gestión del valor ganado (EVM)

<https://www.rib-software.es/pdf/Art%C3%ADculos/Dos-modelos-de-aplicaci%C3%B3n-del-m%C3%A9todo-del-valor-ganado-EVM.pdf>

5.- Gestión del Valor Ganado

<https://www.earnedschedule.com/Docs/Gestion%20de%20Valor%20Ganado.pdf>

6.- Indicador de productividad OEE

[https://www.iniciativasempresariales.com/admin/img/latam/Indicadores de Productividad OEE .pdf](https://www.iniciativasempresariales.com/admin/img/latam/Indicadores_de_Productividad_OEE_.pdf)