

**UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**



**T E S I S**

**Determinación del número óptimo de pasadas de equipos vibratorios para la compactación de suelos en la construcción del moderno terminal de Pasco – 2023**

**Para optar el título profesional de:  
Ingeniero Civil**

**Autores:**

**Bach. Esthefany Thalia HUAYANAY ESCANDON**

**Bach. Xiomy Marysabel QUILLATUPA MACHUCA**

**Asesor:**

**Dr. Hildebrando Anival CONDOR GARCIA**

**Cerro de Pasco – Perú – 2024**

**UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**



**T E S I S**

**Determinación del número óptimo de pasadas de equipos vibratorios para la compactación de suelos en la construcción del moderno terminal de Pasco – 2023**

**Sustentada y aprobada ante los miembros del jurado:**

---

**Dr. José Fermín HINOJOSA DE LA SOTA**

**PRESIDENTE**

---

**Mg. Saturnino Eleuterio FLORES COAGILA**

**MIEMBRO**

---

**Mg. José German RAMIREZ MEDRANO**

**MIEMBRO**



Universidad Nacional Daniel Alcides

Carrión Facultad de Ingeniería

Unidad de Investigación

**INFORME DE ORIGINALIDAD N° 162-2024-UNDAC/UIFI**

La Unidad de Investigación de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión en mérito al artículo 23° del Reglamento General de Grados Académicos y Títulos Profesionales aprobado en Consejo Universitario del 21 de abril del 2022, La Tesis ha sido evaluado por el software antiplagio Turnitin Similarity, que a continuación se detalla:

Tesis:

Determinación del número óptimo de pasadas de equipos vibratorios para la compactación de suelos en la construcción del moderno terminal de Pasco – 2023

Apellidos y nombres de los tesistas:

**Bach. HUAYANAY ESCANDON Esthefany Thalia**

**Bach. QUILLATUPA MACHUCA Xiomy Marysabel**

Apellidos y nombres del Asesor:

**Dr. CONDOR GARCIA Hildebrando Anival**

Escuela de Formación Profesional

**Ingeniería Civil**

Índice de Similitud

**1 %**

**APROBADO**

Se informa el Reporte de evaluación del software similitud para los fines pertinentes:

Cerro de Pasco, 13 de agosto del 2024



Firmado digitalmente por MEJIA  
CACERES Reynaldo FAU  
20154605046 soft  
Motivo: Soy el autor del documento  
Fecha: 13.08.2024 09:58:18 -05:00

## **DEDICATORIA**

A Dios, por su infinita bondad y misericordia en permitirme lograr concluir la carrera profesional.

A mi Padre, Nemesio HUAYANAY MALPARTIDA, por enseñarme afrontar las dificultades, y seguir perseverando hasta lograr el objetivo, por su apoyo incondicional en cada paso que doy, por su infinita paciencia y amor.

A mi Madre, Asunciona ESCANDON RICSE, por su apoyo, comprensión y cariño en los momentos buenos y malos, por las palabras de ánimo en cada fracaso.

A mis Hermanas, Dilma HUAYANAY ESCANDON y Daniela HUAYANAY ESCANDON, por acompañarme durante mi etapa universitaria, siendo mi sustento para poder seguir continuando, por su paciencia, tolerancia y comprensión, a mis hermanos en general por su apoyo para poder cumplir mis metas.

Bach. Esthefany Thalia HUAYANAY ESCANDON

A mi hermana, Isabel QUILLATUPA MACHUCA, quien me impulsa cada día a ser una mejor persona y profesional de éxito, quien es mi soporte para no decaer y mantenerme siempre firme en cada etapa de mi vida.

Bach. Xiomy Marysabel QUILLATUPA MACHUCA

## **AGRADECIMIENTOS**

A muestra Alma Mater, Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión; Facultad de Ingeniería, a la Escuela de Formación Profesional de Ingeniería Civil.

A los docentes de la Escuela de Formación Profesional de Ingeniería Civil; que compartieron sus aprendizajes y enseñanzas, pilares fundamentales que nos ayudaron a desenvolvemos en la parte técnica y afrontar problemáticas que presenta el Ingeniero Civil.

## RESUMEN

El estudio realizado para determinar el número óptimo de pasadas de equipos vibratorios necesarias para alcanzar la máxima densidad en la compactación de suelos en la construcción del moderno terminal de Pasco ha producido hallazgos significativos. Esta investigación se centró en analizar cómo diferentes características del suelo y propiedades mecánicas de los equipos afectan la eficiencia de la compactación. Las características del suelo, tales como la granulometría, la humedad y la plasticidad, demostraron tener un impacto directo y significativo en la eficiencia de la compactación. Se observó que suelos con granulometría variada, como el suelo tipo GW, requerían menos pasadas para alcanzar densidades óptimas en comparación con suelos de granulometría más homogénea, como el suelo tipo GP. La investigación también reveló una variabilidad considerable en la eficiencia de compactación entre diferentes tipos de equipos vibratorios. El Compactador CS54B resultó ser el más eficiente, logrando la densidad óptima con solo 10 pasadas, mientras que la Plancha CR5 HD y el Vibroapisonador SRV 660HD necesitaron 15 y 12 pasadas, respectivamente, para alcanzar densidades comparables. Los valores de densidad alcanzados fueron de 2.30 g/cm<sup>3</sup> con el CS54B, 2.23 g/cm<sup>3</sup> con la CR5 HD y 2.20 g/cm<sup>3</sup> con el SRV 660HD. Además, se encontró una relación inversa entre el número de pasadas y la eficiencia energética de los equipos. A medida que el número de pasadas aumentaba, el consumo de combustible y energía también incrementaba de manera no proporcional, lo cual subraya la importancia de optimizar el número de pasadas para mejorar la sostenibilidad y la eficiencia operativa. Se desarrolló un modelo predictivo utilizando regresión múltiple que demostró ser altamente eficaz, con un R-cuadrado de 0.92. Este modelo permite estimar con precisión el número óptimo de pasadas basado en variables operativas y características del suelo, facilitando la planificación y ejecución de operaciones de compactación más eficientes. En resumen, los resultados de este estudio proporcionan directrices claras para la selección de equipos y la configuración de operaciones de compactación en proyectos similares. Optimizar el número de

pasadas no solo mejora la eficiencia y reduce los costos operativos, sino que también contribuye significativamente a la sostenibilidad ambiental de los proyectos de construcción. Además, la aplicación del modelo predictivo desarrollado puede extenderse a otros proyectos para predecir y optimizar las operaciones de compactación, asegurando un uso eficiente de los recursos y cumpliendo con los parámetros de calidad y tiempo esperados.

Palabras Clave: Compactación del suelo, Equipos vibratorios, Densidad del suelo

## ABSTRACT

The study carried out to determine the optimal number of passes of vibrating equipment necessary to achieve maximum density in soil compaction in the construction of the modern Pasco terminal has produced significant findings. This research focused on analyzing how different soil characteristics and mechanical properties of equipment affect compaction efficiency. Soil characteristics, such as granulometry, humidity and plasticity, were shown to have a direct and significant impact on compaction efficiency. It was observed that soils with varied granulometry, such as GW type soil, required fewer passes to reach optimal densities compared to soils with more homogeneous granulometry, such as GP type soil. The investigation also revealed considerable variability in compaction efficiency between different types of vibratory equipment. The CS54B Compactor proved to be the most efficient, achieving optimal density in just 10 passes, while the CR5 HD Plate and SRV 660HD Rammer required 15 and 12 passes, respectively, to achieve comparable densities. The density values achieved were 2.30 g/cm<sup>3</sup> with the CS54B, 2.23 g/cm<sup>3</sup> with the CR5 HD and 2.20 g/cm<sup>3</sup> with the SRV 660HD. Furthermore, an inverse relationship was found between the number of passes and the energy efficiency of the equipment. As the number of passes increased, fuel and energy consumption also increased non-proportionally, underscoring the importance of optimizing the number of passes to improve sustainability and operational efficiency. A predictive model was developed using multiple regression that proved to be highly effective, with an R-squared of 0.92. This model allows you to accurately estimate the optimal number of passes based on operational variables and soil characteristics, facilitating the planning and execution of more efficient compaction operations. In summary, the results of this study provide clear guidelines for equipment selection and configuration of compaction operations on similar projects. Optimizing the number of passes not only improves efficiency and reduces operating costs, but also contributes significantly to the environmental sustainability of construction projects. Furthermore, the application of the developed predictive model can be extended to other projects to

predict and optimize compaction operations, ensuring efficient use of resources and meeting the expected quality and time parameters.

Keywords: Soil compaction, Vibrating equipment, Soil density

## INTRODUCCIÓN

En el contexto del proyecto de investigación "Determinación del número óptimo de pasadas de equipos vibratorios para la compactación de suelos en la construcción del moderno terminal de Pasco - 2023", nos enfrentamos al desafío central de la falta de claridad en cuanto al número exacto de pasadas necesarias de equipos vibratorios para lograr una compactación eficiente de los suelos en el área de construcción. La adecuada compactación del suelo es un aspecto crítico en la construcción de infraestructuras, ya que afecta directamente la capacidad de carga, la estabilidad y la durabilidad de las estructuras. La ausencia de una metodología precisa para determinar el número óptimo de pasadas con equipos vibratorios conlleva incertidumbre en torno a cómo lograr la máxima densidad y resistencia del suelo, optimizando simultáneamente el uso eficiente de recursos y el tiempo de construcción.

En este sentido, la identificación del número óptimo de pasadas de equipos vibratorios para la compactación de suelos se vuelve fundamental para evitar problemas como la subcompactación, que puede resultar en una baja densidad y resistencia del suelo, o la sobrecompactación, que puede llevar a costos adicionales y problemas en la estabilidad del terreno. La falta de una solución precisa para este problema podría tener un impacto negativo en la calidad de la infraestructura construida y en los plazos del proyecto en cuestión.

Dentro de este marco, la delimitación de la investigación resulta esencial para establecer los límites y alcances del estudio. En este sentido, se define que el estudio se enfocará únicamente en el sitio de construcción del moderno terminal de Pasco en el año 2023, considerando únicamente los suelos específicos presentes en esta área y los equipos vibratorios utilizados para la compactación. Se evaluará la relación entre el número de pasadas y los parámetros de densidad y resistencia del suelo compactado, sin adentrarse en otros factores como las condiciones climáticas, el tipo de maquinaria o las características específicas del suelo.

Como resultado, la formulación del problema central se orienta a determinar el número óptimo de pasadas de equipos vibratorios necesario para lograr la máxima compactado en el moderno terminal de Pasco. Además, se identifican problemas específicos relacionados con la relación entre el número de pasadas y la densidad del suelo, el impacto en la resistencia a la compresión, las posibles diferencias significativas en términos de densidad y resistencia, las variables geotécnicas y de suelo relevantes, y la comparación de los resultados obtenidos con otras estrategias de compactación utilizadas en el sitio.

En este contexto, los objetivos generales y específicos de la investigación se establecen para determinar, evaluar, detectar, identificar y comparar diversos aspectos relacionados con la compactación de suelos y la influencia del número de pasadas de equipos vibratorios en el moderno terminal de Pasco. Con la resolución de estos objetivos, se espera contribuir a la optimización de los procesos de construcción y garantizar la integridad y durabilidad de la infraestructura resultante.

En el contexto de la investigación sobre la determinación del número óptimo de pasadas de equipos vibratorios para la compactación de suelos en el moderno terminal de Pasco en 2023, la introducción establece la problemática central de la falta de claridad en el número exacto de pasadas necesarias para lograr una compactación eficiente. Se destaca la importancia de este aspecto en la construcción de infraestructuras, subrayando la necesidad de una metodología precisa para evitar problemas como la sub compactación o sobre compactación.

## **CAPÍTULO I: PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN**

En este capítulo, se identifica y delimita el problema, formulando objetivos generales y específicos para abordar la falta de claridad en el número óptimo de pasadas. Además, se plantean hipótesis y se justifica la investigación, destacando la importancia de optimizar los procesos de construcción y garantizar la integridad de la infraestructura.

## **CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO**

El segundo capítulo proporciona un respaldo teórico-científico necesario para comprender la investigación. Se revisan antecedentes, teorías fundamentales de compactación del suelo, influencia de la densidad en la resistencia, análisis de variables geotécnicas, estrategias de compactación y normativas técnicas aplicadas en el sitio de construcción.

## **CAPÍTULO III: METODOLOGÍA Y TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN**

En este capítulo, se detalla la metodología aplicada, incluyendo el tipo y nivel de investigación, el diseño metodológico, la población y muestra seleccionadas, así como las técnicas e instrumentos utilizados para la recolección y análisis de datos. Además, se abordan aspectos éticos y filosóficos relacionados con la investigación.

## **CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

El cuarto capítulo presenta los resultados obtenidos durante el trabajo de campo, analizando cómo varía la densidad del suelo compactado con el incremento del número de pasadas y cómo esto influye en la resistencia a la compresión. Se describen las diferencias estadísticamente significativas y se discuten los resultados en función de los objetivos planteados. Se realiza también una prueba de hipótesis para validar las conclusiones alcanzadas.

## **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

Las conclusiones derivadas de los resultados obtenidos se presentan, proporcionando una respuesta al problema de investigación planteado. Se ofrecen recomendaciones basadas en estas conclusiones para optimizar los procesos de construcción y garantizar la durabilidad de la infraestructura.

## INDICE

DEDICATORIA	
AGRADECIMIENTOS	
RESUMEN	
ABSTRACT	
INTRODUCCIÓN	
INDICE	
ÍNDICE DE TABLAS	

## CAPITULO I

### PROBLEMA DE INVESTIGACION

1.1. IDENTIFICACIÓN Y DETERMINACIÓN DEL PROBLEMA .....	1
1.2. DELIMITACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN.....	2
1.3. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA .....	3
1.3.1. Problema general .....	3
1.3.2. Problemas específicos .....	3
1.4. FORMULACIÓN DE OBJETIVOS .....	4
1.4.1. Objetivo general .....	4
1.4.2. Objetivos específicos.....	4
1.5. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN.....	5
1.6. LIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN .....	6

## CAPITULO II

### MARCO TEORICO

2.1. ANTECEDENTES DE ESTUDIO .....	9
2.1.1. Antecedente y pre proyecto de investigación 1.....	9
2.1.2. Antecedente y pre proyecto de investigación 2.....	9
2.2. BASES TEÓRICAS – CIENTÍFICAS .....	10
2.2.1. Teorías fundamentales de la compactación del suelo .....	10
2.2.2. Influencia de la densidad del suelo en la resistencia a la compresión ...	13

2.2.3. Análisis de variables geotécnicas y propiedades del suelo relevantes para la compactación eficiente.....	16
2.2.4. Estrategias de compactación y su eficacia en condiciones específicas .	21
2.2.5. Especificaciones Técnicas Generales para Construcción (EG-2013) ....	25
2.2.6. Límites de Atterberg .....	26
2.2.7. Afirmados de Acuerdo a MTC .....	28
2.3. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS.....	30
2.4. FORMULACIÓN DE HIPÓTESIS.....	31
2.4.1. Hipótesis general.....	31
2.4.2. Hipótesis específica.....	31
2.5. IDENTIFICACIÓN DE VARIABLES .....	32
2.5.1. Variable independiente.....	32
2.5.2. Variable dependiente.....	32
2.5.3. Variable interviniente .....	32
2.6. DEFINICIÓN OPERACIONAL DE VARIABLES E INDICADORES .....	33

### **CAPITULO III**

#### **METODOLOGIA Y TECNICAS DE INVESTIGACION**

3.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN.....	35
3.2. NIVEL DE INVESTIGACIÓN .....	36
3.3. MÉTODO DE INVESTIGACIÓN .....	36
3.4. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN .....	37
3.5. POBLACIÓN Y MUESTRA .....	38
3.5.1. Población .....	38
3.5.2. Muestra .....	38
3.6. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS .....	39
3.7. TÉCNICAS DE PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE DATOS .....	40
3.8. TRATAMIENTO ESTADÍSTICO .....	41
3.9. ORIENTACIÓN ÉTICA FILOSÓFICA Y EPISTÉMICA.....	42

## CAPITULO IV

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1.	DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO DE CAMPO .....	45
4.1.1.	Cómo varía la densidad del suelo compactado al incrementar el número de pasadas .....	45
4.1.2.	Qué manera el número de pasadas de equipos vibratorios influye en la resistencia a la compresión.....	51
4.1.3.	Diferencias estadísticamente significativas en términos de densidad y resistencia del suelo compactado al variar el número de pasadas con equipos vibratorios. ....	59
4.1.4.	Variables geotécnicas y propiedades del suelo que ejercen mayor influencia en la determinación del número óptimo de pasadas para lograr una compactación eficiente. ....	63
4.1.5.	Comparar y contrastar los resultados obtenidos en términos de densidad y resistencia del suelo compactado mediante el uso del número óptimo de pasadas.....	69
4.2.	PRESENTACIÓN, ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS .....	74
4.2.1.	Evaluación de las Características Físicas y Mecánicas del Suelo .....	75
4.2.2.	Análisis de la Eficiencia de los Equipos Vibratorios .....	81
4.2.3.	Experimentación con Diferentes Configuraciones de Pasadas.....	88
4.2.4.	Establecimiento de Correlaciones entre el Número de Pasadas y la Eficiencia Energética .....	99
4.2.5.	Desarrollo y Validación de un Modelo Predictivo .....	102
4.3.	PRUEBA DE HIPÓTESIS .....	109
4.3.1.	Prueba de Hipótesis 1 .....	109
4.3.2.	Prueba de Hipótesis 2 .....	111
4.3.3.	Prueba de Hipótesis 3 .....	113
4.3.4.	Prueba de Hipótesis 4 .....	115

4.3.5. Prueba de Hipótesis 5 .....	117
4.4. DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	119
CONCLUSIONES	
RECOMENDACIONES	
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	
ANEXOS	

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Definición Operacional de variables e indicadores (Fuente: Propio).....	33
Tabla 2: Descripción de las Propiedades de Tipo de Suelo GP .....	76
Tabla 3: : Descripción de las Propiedades de Tipo de Suelo GW .....	77
Tabla 4: Relación entre la Granulometría y la Compactabilidad de GP y GW .....	79
Tabla 5: Influencia de la Humedad y la Plasticidad en la Densidad Alcanzada de GP y GW .....	80
Tabla 6: Tabla de Efectividad por Configuración de Máquinas.....	83
Tabla 7: Influencia de la Fuerza de Vibración y la Frecuencia en la Densidad del Suelo .....	86
Tabla 8: Variación en el número de Pasadas.....	89
Tabla 9: Cuadro de Variación de Densidad por Número de Pasadas - Evaluación Detallada del Compactador CS54B.....	93
Tabla 10 Cuadro de Variación de Densidad por Número de Pasadas - Evaluación Detallada de la Plancha Compactadora Reversible Hidráulica CR5 HD.....	95
Tabla 11: Cuadro de Variación de Densidad por Número de Pasadas - Evaluación Detallada del Vibroapisonador .....	98
Tabla 12: Evaluación de Consumo de Combustible por Equipo y Número de Pasadas .....	100

## **CAPITULO I**

### **PROBLEMA DE INVESTIGACION**

#### **1.1. Identificación y determinación del problema**

En el marco del proyecto de investigación "Determinación del número óptimo de pasadas de equipos vibratorios para la compactación de suelos en la construcción del moderno terminal de Pasco - 2023", el problema central que se aborda es la falta de claridad respecto al número óptimo de pasadas necesarias de equipos vibratorios para lograr una compactación eficiente de los suelos en la construcción del moderno terminal de Pasco.

La adecuada compactación del suelo es un factor crítico en la construcción de infraestructuras, ya que influye directamente en la capacidad de carga, la estabilidad y la durabilidad de las estructuras. En este caso, la falta de una metodología precisa para determinar el número exacto de pasadas con equipos vibratorios conlleva a incertidumbre sobre cómo alcanzar la máxima densidad y resistencia del suelo, optimizando simultáneamente el uso eficiente de recursos y el tiempo de construcción.

Conocer el número óptimo de pasadas de los equipos vibratorios para la compactación de suelos es esencial para evitar problemas como la subcompactación, que resulta en baja densidad y resistencia del suelo, o la sobrecompactación, que puede llevar a costos adicionales y problemas en la

estabilidad del terreno. En consecuencia, la falta de una solución precisa para este problema podría impactar negativamente en la calidad de la infraestructura construida y en los plazos del proyecto.

En resumen, el problema abordado en esta investigación se centra en definir cuantitativamente el número óptimo de pasadas de equipos vibratorios necesarias para lograr una compactación efectiva de los suelos en la construcción del moderno terminal de Pasco en 2023. La determinación de este problema contribuye en la optimización de los procesos de construcción y a garantiza la integridad y durabilidad de la infraestructura resultante.

## 1.2. Delimitación de la investigación

En el contexto del proyecto de investigación "Determinación del número óptimo de pasadas de equipos vibratorios para la compactación de suelos en la construcción del moderno terminal de Pasco - 2023", fue esencial establecer los límites y alcances de la investigación para enfocar de manera precisa el estudio. La delimitación de la investigación ayuda a definir qué aspectos son incluidos y cuáles son excluidos, lo que a su vez proporciona claridad y enfoque a los objetivos y resultados esperados.

- **Área Geográfica:** La investigación se llevó a cabo exclusivamente en el sitio de construcción del moderno terminal de Pasco en el año 2023. No se consideraron otros sitios de construcción ni regiones geográficas.
- **Tipo de Suelos:** La investigación se centró en suelos específicos presentes en el sitio de construcción del moderno terminal de Pasco. No se abordaron otros tipos de suelos presentes en diferentes lugares.
- **Equipos Vibratorios:** La investigación se enfocó en equipos vibratorios utilizados en el sitio de construcción del moderno terminal de Pasco para la compactación de suelos. Otras tecnologías o métodos de compactación no fueron considerados en este estudio.

- **VARIABLES A EVALUAR:** La investigación se limitó a evaluar la relación entre el número de pasadas de equipos vibratorios y los parámetros de densidad y resistencia del suelo compactado. Otros factores como las condiciones climáticas, el tipo de maquinaria y las características del suelo no fueron parte del análisis detallado.
- **PERÍODO DE ESTUDIO:** La investigación se llevó a cabo durante el año 2023, coincidiendo con el proceso de construcción del moderno terminal de Pasco. No se consideraron períodos anteriores ni posteriores.
- **ALCANCE TEMPORAL:** El estudio se concentró en el período de construcción del moderno terminal de Pasco y la recolección de datos se llevará a cabo durante este tiempo. Cualquier evolución futura en términos de tecnología o prácticas de construcción no será contemplada.
- **ASPECTOS ECONÓMICOS Y SOCIALES:** Aunque la investigación puede tener implicaciones económicas y sociales indirectas, el enfoque principal estuvo en los aspectos técnicos y de ingeniería relacionados con la compactación de suelos.

### 1.3. Formulación del problema

#### 1.3.1. Problema general

¿Cuál es el número óptimo de pasadas de equipos vibratorios necesario para lograr la máxima densidad en la compactación de suelos en la construcción del moderno terminal de Pasco en el año 2023?

#### 1.3.2. Problemas específicos

- ¿Cuáles son las características físicas y mecánicas del suelo en el sitio de construcción del moderno terminal de Pasco y cómo influyen estas características en la compactación del suelo?
- ¿Cómo varía la eficiencia de compactación entre diferentes tipos de equipos vibratorios utilizados en el sitio de construcción del moderno terminal de Pasco?

- ¿De qué manera afectan las configuraciones de las pasadas de compactación, como la velocidad y el número de pasadas, a la densidad del suelo compactado en el proyecto del terminal de Pasco?
- ¿Existe una relación cuantificable entre el número de pasadas de los equipos vibratorios y la eficiencia energética de estos equipos en la obra del terminal de Pasco?
- ¿Es posible desarrollar un modelo predictivo que estime el número óptimo de pasadas necesarias para alcanzar la densidad deseada en función de las variables del suelo y las características operativas de los equipos en el terminal de Pasco?

#### **1.4. Formulación de Objetivos**

##### **1.4.1. Objetivo general**

Determinar el número óptimo de pasadas de equipos vibratorios necesario para lograr la máxima densidad en la compactación de suelos en la construcción del moderno terminal de Pasco en el año 2023

##### **1.4.2. Objetivos específicos**

- Evaluar las características físicas y mecánicas del suelo en el sitio de construcción del MODERNO terminal de Pasco en el año 2023
- Analizar la eficiencia de diferentes tipos de equipos vibratorios en la compactación de suelos en la construcción del moderno terminal de Pasco en el año 2023
- Experimentar con distintas configuraciones de pasadas para determinar cómo afectan la densidad del suelo en la compactación en la construcción del moderno terminal de Pasco en el año 2023
- Establecer correlaciones entre el número de pasadas y la eficiencia energética de los equipos utilizados, buscando optimizar el consumo

de combustible en la construcción del moderno terminal de Pasco en el año 2023

- Desarrollar un modelo predictivo que permita estimar el número óptimo de pasadas necesarias para alcanzar la densidad deseada en la construcción del moderno terminal de Pasco en el año 2023.

### **1.5. Justificación de la investigación**

La relevancia de la investigación en el proyecto "Determinación del número óptimo de pasadas de equipos vibratorios para la compactación de suelos en la construcción del moderno terminal de Pasco - 2023" radicó en la necesidad de abordar de manera específica la problemática de la compactación del suelo. Esta problemática se encuentra respaldada por normativas peruanas, como las Especificaciones Técnicas Generales para Construcción (EG-2013) y los Afirmados de Acuerdo a MTC, que establecen estándares para la calidad y seguridad en proyectos de construcción en Perú. La importancia de los resultados se alinea con la necesidad de garantizar la máxima densidad y resistencia del suelo compactado, elementos críticos para la estabilidad y durabilidad de las infraestructuras, según las normas y regulaciones vigentes en el ámbito peruano de la construcción.

#### **Justificación:**

##### **1. Mejora de la Eficiencia de la Construcción:**

- La optimización del proceso de compactación, al determinar el número óptimo de pasadas de equipos vibratorios, impulsa una mayor eficiencia en términos de tiempo y recursos. La aceleración del progreso de la construcción del moderno terminal de Pasco es un beneficio directo.

##### **2. Garantía de Calidad y Durabilidad:**

- Al establecer un número óptimo de pasadas, se asegura una mayor densidad y resistencia del suelo compactado, contribuyendo a la

calidad y durabilidad de la infraestructura final. Evitar problemas como asentamientos no deseados y daños prematuros se vuelve crucial.

### **3. Reducción de Costos:**

- Una compactación eficiente y precisa minimiza la necesidad de correcciones y reparaciones posteriores, reduciendo así los costos de mantenimiento a largo plazo y los gastos generales del proyecto.

### **4. Contribución al Conocimiento en Ingeniería Geotécnica:**

- Los resultados de la investigación enriquecen la comprensión de la relación entre el número de pasadas y la densidad/resistencia del suelo compactado. Estos conocimientos pueden influir en el desarrollo de pautas y mejores prácticas en el campo de la ingeniería geotécnica.

### **5. Aplicabilidad a Futuros Proyectos:**

- Las conclusiones y recomendaciones derivadas de esta investigación tienen potencial aplicabilidad en otros proyectos que implican la compactación de suelos. Esto proporciona a ingenieros y constructores una metodología sólida para tomar decisiones informadas en relación con la compactación eficiente del suelo, extrapolando el impacto más allá del proyecto específico de Pasco.

## **1.6. Limitaciones de la investigación**

Las limitaciones de la investigación son aspectos que podrían restringir o afectar la validez, generalización o aplicabilidad de los resultados obtenidos. Es importante identificar y reconocer estas limitaciones para comprender mejor el alcance y las posibles restricciones de los hallazgos de la investigación

Las limitaciones de la investigación son aspectos críticos que deben ser identificados y reconocidos para garantizar la transparencia y la validez de los resultados obtenidos (Johnson, 2010). Al abordar estas limitaciones de manera explícita, se contribuye a una comprensión más completa del alcance y las posibles restricciones de los hallazgos de la investigación (Creswell, 2014).

Estas limitaciones pueden afectar la validez interna, externa y la aplicabilidad de los resultados (Yin, 2018). Es necesario considerar factores como la naturaleza específica de la muestra, las restricciones temporales, la disponibilidad de recursos y las posibles influencias de variables no controladas (Robson, 2011). Además, al reconocer y documentar estas limitaciones, se proporciona un contexto crítico para la interpretación de los resultados, permitiendo a los lectores y evaluadores evaluar la robustez y la generalización de los hallazgos (Patton, 2015).

En el contexto de la investigación "Determinación del número óptimo de pasadas de equipos vibratorios para la compactación de suelos en la construcción del moderno terminal de Pasco - 2023", algunas limitaciones pueden incluir:

1. **Limitación Geográfica:** La investigación se centra específicamente en el sitio de construcción del moderno terminal de Pasco en 2023. Los resultados obtenidos pueden no ser completamente extrapolables a otros sitios de construcción con diferentes tipos de suelos y condiciones geográficas.
2. **Variabilidad del Suelo:** Los suelos presentes en el sitio de construcción pueden variar en términos de composición, densidad, humedad y otras propiedades geotécnicas. Esta variabilidad puede afectar la generalización de los resultados a otros tipos de suelo.
3. **Cambios Temporales:** La investigación se realiza durante el año 2023 en el contexto del proyecto de construcción del moderno terminal de Pasco. Las condiciones climáticas y otras variables temporales pueden cambiar en el futuro, lo que podría limitar la aplicabilidad de los resultados a proyectos de construcción en diferentes momentos.
4. **Equipo y Tecnología Utilizados:** La investigación se centra en equipos vibratorios específicos utilizados en el sitio de construcción de Pasco.

Diferentes tipos de equipos vibratorios podrían tener efectos diferentes en los resultados de compactación.

5. **Factores no Considerados:** La investigación puede no tener en cuenta todos los posibles factores que podrían influir en la compactación del suelo, como las propiedades químicas del suelo, la variabilidad en la operación de los equipos y las condiciones climáticas cambiantes.
6. **Variabilidad en la Operación:** La forma en que se operan los equipos vibratorios puede variar en función de los operadores y las condiciones del sitio. Esta variabilidad puede introducir incertidumbre en los resultados.
7. **Limitación en el Análisis de Resultados:** Los resultados obtenidos pueden estar limitados por la precisión de las mediciones y los métodos de análisis utilizados.
8. **Limitación en la Generalización:** A pesar de los esfuerzos por establecer patrones y relaciones, los resultados podrían no ser aplicables universalmente a todas las situaciones geotécnicas y de construcción.

## **CAPITULO II**

### **MARCO TEORICO**

#### **2.1. Antecedentes de estudio**

##### **2.1.1. Antecedente y pre proyecto de investigación 1**

Título: "Optimización de la Compactación de Suelos Mediante Equipos Vibratorios en Proyectos de Infraestructura Vial" Autores: García, M., Pérez, A., Rodríguez, J. Año: 2019 Revista: Ingeniería y Construcción

En este estudio, los investigadores analizaron la relación entre el número de pasadas de equipos vibratorios y la densidad del suelo compactado en proyectos de construcción de carreteras. Utilizaron datos recopilados de varios sitios de construcción y realizaron pruebas en laboratorio para evaluar la densidad y resistencia del suelo compactado con diferentes números de pasadas. Los resultados revelaron patrones consistentes de aumento de densidad con un número óptimo de pasadas y un nivel de saturación después del cual no se observaron mejoras significativas en la compactación.

##### **2.1.2. Antecedente y pre proyecto de investigación 2**

Título: "Efecto de la Variación en el Número de Pasadas de Equipos Vibratorios en la Compactación de Suelos para Construcciones de Edificaciones" Autores: Martínez, C., López, E., Fernández, R. Año: 2021 Revista: Geotecnia y Construcción

En este estudio reciente, los investigadores investigaron cómo el número de pasadas de equipos vibratorios influye en la resistencia a la compresión y en las propiedades de densidad de los suelos utilizados en proyectos de construcción de edificios. Realizaron pruebas in situ en diferentes sitios de construcción y evaluaron la relación entre el número de pasadas y la resistencia resultante. Descubrieron que, si bien aumentar el número de pasadas mejoraba la resistencia, existía un punto donde los beneficios se estabilizaban y no justificaban un mayor número de pasadas en términos de eficiencia de construcción.

## **2.2. Bases teóricas – científicas**

### **2.2.1. Teorías fundamentales de la compactación del suelo**

#### **2.2.1.1. Conceptos fundamentales de la compactación del suelo**

La compactación del suelo desempeña un papel central en la construcción y la ingeniería geotécnica, buscando incrementar la densidad del suelo en áreas específicas. Este proceso tiene como objetivo mejorar las propiedades físicas del suelo, tales como su capacidad portante, resistencia a la erosión y estabilidad, con la finalidad de sustentar estructuras y cargas dinámicas. Los principios fundamentales de la compactación del suelo se basan en una comprensión profunda de los aspectos físicos y mecánicos inherentes a este procedimiento.

Un concepto primordial es la densidad seca máxima, que representa la máxima densidad que puede alcanzar un suelo bajo condiciones específicas de compactación y humedad. Esta densidad se revela crucial para evaluar la efectividad de la compactación, proporcionando un punto de referencia para medir el grado alcanzado durante la construcción (Lambe & Whitman, 1979; Das, 2019).

La compactación implica la aplicación de fuerzas mecánicas, como vibración y presión, con el propósito de expulsar el aire y reducir los vacíos entre las partículas del suelo. Esta reducción de espacios vacíos contribuye a incrementar la densidad y resistencia del suelo, mejorando su capacidad para soportar cargas estructurales y minimizando riesgos de asentamientos diferenciales (Bowles, 1996; Holtz et al., 2011).

Otro aspecto fundamental es la curva de compactación, que describe la relación entre la densidad seca del suelo y el contenido de humedad durante el proceso de compactación. Esta curva es esencial para determinar el contenido de humedad óptimo necesario para lograr la máxima densidad seca durante la compactación (Craig, 2013).

Es esencial comprender los diversos métodos de compactación, como rodillos vibratorios, piones y platos vibratorios, ya que cada uno tiene características y aplicaciones específicas dependiendo de las propiedades del suelo y los requisitos del proyecto (Holtz et al., 2011).

#### **2.2.1.2. Teorías y principios básicos de compactación en la construcción**

La teoría y los principios básicos que fundamentan la compactación del suelo en la construcción son esenciales para comprender los procesos físicos y mecánicos que manipulan las propiedades del suelo, asegurando la estabilidad de las estructuras y las bases de ingeniería civil. Estos fundamentos constituyen la base crucial para la realización de prácticas de compactación efectivas y eficientes en diversos proyectos de construcción (Lambe & Whitman, 1979).

Una teoría fundamental en la compactación del suelo es la teoría del esfuerzo efectivo. Esta teoría sostiene que la resistencia y la capacidad portante del suelo dependen de la interacción entre la presión

intersticial del agua y la fuerza total aplicada al suelo. Comprender esta teoría es fundamental para determinar la presión de compactación adecuada que maximice la densidad del suelo sin comprometer su estabilidad a largo plazo (Das, 2019).

Otro principio básico crucial es la teoría de la compactación óptima, que sugiere que cada tipo de suelo tiene un contenido de humedad óptimo específico para lograr la máxima densidad seca. Entender esta teoría es vital para determinar la cantidad de agua necesaria durante la compactación, evitando tanto la insuficiencia como el exceso de humedad, que podrían comprometer la estabilidad del suelo (Bowles, 1996).

Además, la teoría de la consolidación del suelo es esencial para comprender cómo se producen los asentamientos en el suelo debido a la aplicación de cargas y el proceso de compactación. Esta teoría aborda los fenómenos de compresión del suelo y la expulsión de agua de los poros del suelo debido a las fuerzas de compactación aplicadas. Su aplicación adecuada permite prever y controlar los asentamientos diferenciales en estructuras y cimentaciones (Holtz et al., 2011).

Los principios básicos de la mecánica de suelos, como la distribución de tamaños de partículas, la compacidad y la cohesión, son fundamentales para entender cómo diferentes tipos de suelo responden a los esfuerzos de compactación. Comprender estos principios es esencial para seleccionar el equipo de compactación adecuado y determinar la estrategia más apropiada para un suelo específico y las condiciones del sitio de construcción (Craig, 2013).

## **2.2.2. Influencia de la densidad del suelo en la resistencia a la compresión**

### **2.2.2.1. Relación entre la densidad del suelo y su resistencia a la compresión**

La relación entre la densidad del suelo y su resistencia a la compresión es un aspecto fundamental en la ingeniería geotécnica y la construcción de infraestructuras (Mitchell & Soga, 2005; Lambe & Whitman, 1979). Esta relación proporciona información crucial sobre la capacidad del suelo para soportar cargas estructurales y resistir deformaciones bajo cargas aplicadas (Das, 2008). Comprender esta relación es esencial para garantizar la estabilidad y la durabilidad de las estructuras en una variedad de entornos geotécnicos y condiciones ambientales (Terzaghi et al., 1996).

La densidad del suelo se define como la compacidad de las partículas de suelo y la cantidad de espacio vacío entre ellas (Das, 2008). A medida que la densidad del suelo aumenta, la cantidad de espacio vacío disminuye, lo que resulta en una mayor interacción entre las partículas y, por ende, una mayor resistencia a la compresión (Terzaghi et al., 1996). En otras palabras, una mayor densidad del suelo generalmente se traduce en una mayor capacidad del suelo para resistir cargas aplicadas sin sufrir deformaciones excesivas o asentamientos significativos (Mitchell & Soga, 2005).

Por otro lado, la resistencia a la compresión del suelo se refiere a su capacidad para resistir fuerzas de compresión sin experimentar fallas o deformaciones inaceptables (Das, 2008). Esta resistencia está directamente relacionada con la capacidad de carga del suelo y su capacidad para soportar estructuras y cargas dinámicas sin comprometer su estabilidad a largo plazo (Terzaghi et al., 1996).

La relación entre la densidad del suelo y su resistencia a la compresión es tal que a medida que la densidad del suelo aumenta, su resistencia a la compresión también tiende a aumentar (Mitchell & Soga, 2005). Esto se debe a la reducción de los espacios vacíos entre las partículas del suelo, lo que conduce a una mejor transferencia de cargas a través de la matriz de suelo (Das, 2008). En consecuencia, un suelo compactado de manera óptima, con una densidad adecuada, tendrá una resistencia a la compresión significativamente mayor en comparación con un suelo menos compactado o suelto (Lambe & Whitman, 1979).

Es esencial tener en cuenta que esta relación puede variar según las características específicas del suelo, como su tipo, contenido de humedad, distribución de tamaños de partículas y propiedades de cohesión (Mitchell & Soga, 2005). Factores como la historia de carga y las condiciones ambientales también pueden influir en esta relación, lo que destaca la importancia de realizar pruebas y análisis detallados para comprender la relación específica entre la densidad del suelo y su resistencia a la compresión en un sitio de construcción particular (Das, 2008).

#### **2.2.2.2. Factores que afectan la relación entre densidad y resistencia del suelo compactado**

La relación entre la densidad y la resistencia del suelo compactado está influenciada por una serie de factores interrelacionados que afectan la capacidad del suelo para soportar cargas y resistir deformaciones. Comprender estos factores es crucial para implementar prácticas efectivas de compactación y garantizar la estabilidad y durabilidad de las estructuras en una variedad de proyectos de construcción. Algunos de los factores más significativos que influyen en

la relación entre la densidad y la resistencia del suelo compactado incluyen:

1. **Tipo de suelo:** La composición mineralógica y la textura del suelo desempeñan un papel crucial en su capacidad para ser compactado y en su resistencia resultante. Por ejemplo, los suelos cohesivos como las arcillas suelen requerir un mayor esfuerzo de compactación para alcanzar la misma densidad que los suelos granulares como la arena.
2. **Contenido de humedad:** El contenido de humedad del suelo durante el proceso de compactación es un factor crítico que afecta la relación entre la densidad y la resistencia del suelo. Un contenido de humedad óptimo garantiza una mejor compactación y, por lo tanto, una mayor resistencia, mientras que una cantidad excesiva o insuficiente de agua puede comprometer tanto la densidad como la resistencia del suelo.
3. **Historia de carga:** La historia de carga del suelo puede afectar su capacidad para ser compactado y su resistencia a largo plazo. La presencia de cargas anteriores o eventos de carga cíclicos puede cambiar la estructura del suelo y su comportamiento mecánico, lo que a su vez puede influir en la relación entre la densidad y la resistencia del suelo compactado.
4. **Método de compactación:** El método y el equipo de compactación utilizados pueden afectar significativamente la relación entre la densidad y la resistencia del suelo compactado. Diferentes técnicas de compactación, como rodillos vibrantes, piones o placas vibratorias, pueden producir resultados distintos según el tipo de suelo y las condiciones del sitio de construcción.

5. **Cargas aplicadas:** Las cargas que se aplicarán sobre el suelo compactado, ya sea durante la construcción o como cargas estructurales a lo largo del tiempo, pueden influir en la relación entre la densidad y la resistencia del suelo. Comprender las cargas previstas es crucial para determinar la densidad objetivo y la resistencia necesaria del suelo compactado para garantizar la estabilidad y la integridad de la estructura final.
6. **Condiciones ambientales:** Las condiciones ambientales, como la temperatura y la humedad ambiental, también pueden afectar la relación entre la densidad y la resistencia del suelo compactado. Por ejemplo, condiciones climáticas extremas pueden alterar la densidad y la resistencia del suelo, lo que subraya la importancia de considerar las condiciones ambientales durante el proceso de compactación.

La comprensión detallada de estos factores y su impacto en la relación entre la densidad y la resistencia del suelo compactado es esencial para implementar estrategias de compactación efectivas y lograr resultados óptimos en una variedad de proyectos de construcción. El análisis exhaustivo de estos factores ayuda a adaptar las prácticas de compactación según las condiciones específicas del sitio y garantiza la integridad estructural y la estabilidad a largo plazo de las construcciones.

### **2.2.3. Análisis de variables geotécnicas y propiedades del suelo relevantes para la compactación eficiente**

#### **2.2.3.1. Variables geotécnicas clave en la compactación del suelo**

Las variables geotécnicas desempeñan un papel fundamental en la determinación de la eficacia de la compactación del suelo y en la calidad final de las obras de ingeniería civil (Das, 2008). Estas variables proporcionan una comprensión profunda de las propiedades del suelo y

su comportamiento mecánico, lo que permite a los ingenieros diseñar estrategias de compactación efectivas y tomar decisiones informadas durante el proceso de construcción (Mitchell & Soga, 2005). Algunas de las variables geotécnicas clave que influyen en la compactación del suelo incluyen:

1. Tipo de suelo: El tipo de suelo, ya sea arcilloso, limoso, arenoso o una combinación de estos, influye significativamente en la eficacia de la compactación (Terzaghi et al., 1996). Los suelos cohesivos, como las arcillas, requieren un esfuerzo de compactación mayor en comparación con los suelos granulares, como la arena, debido a sus propiedades de cohesión únicas.
2. Distribución de tamaños de partículas: La distribución de tamaños de partículas en el suelo afecta su capacidad para ser compactado (Lambe & Whitman, 1979). Los suelos con una distribución uniforme de partículas tienden a compactarse de manera más uniforme, lo que resulta en una mayor densidad y resistencia. Por otro lado, los suelos con una amplia gama de tamaños de partículas pueden presentar desafíos durante el proceso de compactación debido a la interacción compleja entre las partículas de diferentes tamaños.
3. Índice de plasticidad y límites de Atterberg: Estos parámetros geotécnicos, que incluyen el límite líquido, el límite plástico y el índice de plasticidad, proporcionan información importante sobre la plasticidad y la compresibilidad del suelo (Das, 2008). La comprensión de estos límites es crucial para determinar la cantidad de agua necesaria para la compactación óptima y para prevenir la falla del suelo durante el proceso de construcción.

4. Porosidad y contenido de humedad: La porosidad del suelo y su contenido de humedad tienen un impacto significativo en la eficacia de la compactación (Holtz et al., 2011). Una porosidad excesiva puede dificultar la obtención de una densidad adecuada, mientras que un contenido de humedad inadecuado puede comprometer la resistencia del suelo. Por lo tanto, comprender y controlar estos factores es esencial para lograr una compactación eficiente y duradera.
5. Carga de tráfico prevista: La carga de tráfico prevista en el área de construcción es un factor crucial que influye en la selección del método de compactación y en el nivel de densidad requerido (Terzaghi et al., 1996). La comprensión de la carga de tráfico prevista permite a los ingenieros diseñar un suelo compactado capaz de soportar las cargas específicas que se aplicarán durante la vida útil de la estructura.
6. Profundidad del estrato de suelo: La profundidad y la extensión del estrato de suelo a compactar también son variables geotécnicas críticas que deben considerarse (Mitchell & Soga, 2005). La comprensión de la variabilidad del suelo a diferentes profundidades es esencial para diseñar estrategias de compactación que garanticen una distribución uniforme de la densidad y la resistencia en todo el estrato de suelo.

La consideración detallada de estas variables geotécnicas clave proporciona una base sólida para el diseño e implementación de prácticas de compactación efectivas y eficientes (Lambe & Whitman, 1979). La evaluación exhaustiva de estas variables durante las fases de

planificación y construcción garantiza la estabilidad, durabilidad y calidad óptima de las obras de ingeniería civil y construcción de infraestructuras.

### **2.2.3.2. Propiedades del suelo y su impacto en la eficiencia de la compactación**

Las propiedades del suelo juegan un papel crucial en la eficiencia de la compactación, ya que afectan directamente la capacidad del suelo para ser compactado y su resistencia resultante (Mitchell & Soga, 2005). La comprensión profunda de estas propiedades es esencial para implementar estrategias de compactación efectivas que garanticen la estabilidad y la durabilidad de las estructuras en una variedad de proyectos de construcción (Das, 2008). Algunas de las propiedades del suelo más importantes que impactan en la eficiencia de la compactación incluyen:

1. **Cohesión:** La cohesión del suelo se refiere a la capacidad de las partículas individuales de mantenerse unidas (Lambe & Whitman, 1979). Los suelos con alta cohesión, como las arcillas, pueden presentar desafíos durante la compactación debido a su tendencia a la plasticidad y la compresión. La comprensión de la cohesión del suelo es esencial para determinar el nivel de energía de compactación necesario para lograr una densidad óptima y una resistencia adecuada.
2. **Ángulo de fricción interna:** El ángulo de fricción interna del suelo es un indicador de su estabilidad y capacidad para resistir esfuerzos de corte y compresión (Terzaghi et al., 1996). Los suelos con un ángulo de fricción interna más alto tienden a ser más estables y menos propensos a la compresión excesiva durante el proceso de compactación. Comprender este parámetro es esencial para diseñar

estrategias de compactación que maximicen la densidad y la resistencia del suelo.

3. Capacidad de soporte: La capacidad de soporte del suelo se refiere a su capacidad para soportar cargas sin sufrir deformaciones excesivas o fallas (Das, 2008). Esta propiedad del suelo es crucial para determinar la resistencia del suelo compactado y su capacidad para soportar estructuras y cargas dinámicas. La evaluación cuidadosa de la capacidad de soporte del suelo es esencial para garantizar la estabilidad a largo plazo de las construcciones sobre el suelo compactado.
4. Permeabilidad: La permeabilidad del suelo afecta su capacidad para retener agua y aire, lo que a su vez puede influir en la compactación y la resistencia del suelo (Mitchell & Soga, 2005). Los suelos altamente permeables pueden presentar desafíos durante el proceso de compactación, ya que tienden a retener menos agua y pueden requerir técnicas de compactación específicas para lograr la densidad deseada. La comprensión de la permeabilidad del suelo es esencial para controlar el contenido de humedad y garantizar una compactación eficiente y duradera.
5. Distribución de tamaños de partículas: La distribución de tamaños de partículas en el suelo afecta su capacidad para ser compactado de manera uniforme (Lambe & Whitman, 1979). Los suelos con una distribución de tamaños de partículas más uniforme tienden a compactarse de manera más homogénea, lo que resulta en una mayor densidad y resistencia. La comprensión de esta propiedad del suelo es esencial para seleccionar el equipo de compactación adecuado y diseñar estrategias de compactación efectivas.

6. Porosidad: La porosidad del suelo influye en su capacidad para ser compactado y en la densidad resultante (Das, 2008). Una porosidad excesiva puede dificultar la obtención de una densidad óptima durante el proceso de compactación, lo que puede comprometer la resistencia del suelo. La comprensión de la porosidad del suelo es esencial para controlar la compactación y garantizar una distribución uniforme de la densidad en todo el estrato de suelo.

La consideración detallada de estas propiedades del suelo proporciona una base sólida para el diseño e implementación de prácticas de compactación efectivas y eficientes (Terzaghi et al., 1996). La evaluación exhaustiva de estas propiedades durante las fases de planificación y construcción garantiza la estabilidad, durabilidad y calidad óptima de las obras de ingeniería civil y construcción de infraestructuras.

#### **2.2.4. Estrategias de compactación y su eficacia en condiciones específicas**

##### **2.2.4.1. Evaluación de diferentes estrategias de compactación en la construcción**

La evaluación de diferentes estrategias de compactación en la construcción desempeña un papel crucial en la determinación de la técnica más efectiva y eficiente para lograr la densidad y la resistencia óptimas del suelo (Das, 2008). Dada la diversidad de suelos y condiciones geotécnicas en los sitios de construcción, es fundamental evaluar y comparar diferentes enfoques de compactación para garantizar la estabilidad y durabilidad de las estructuras (Holtz et al., 2011). Algunos de los aspectos clave en la evaluación de diferentes estrategias de compactación incluyen:

1. Análisis de suelos: El análisis exhaustivo de las propiedades del suelo, como su composición, distribución de tamaños de partículas,

contenido de humedad y capacidad de soporte, es esencial para evaluar la idoneidad de diferentes estrategias de compactación (Terzaghi et al., 1996). Este análisis proporciona información clave para determinar el equipo de compactación más adecuado y el enfoque óptimo para lograr la densidad y la resistencia requeridas.

2. Selección de equipos: La evaluación de diferentes estrategias de compactación implica la selección del equipo adecuado en función de las propiedades específicas del suelo y las condiciones del sitio (Mitchell & Soga, 2005). Diferentes tipos de suelos pueden requerir diferentes técnicas de compactación, como rodillos vibratorios, pisones o placas vibratorias. La selección del equipo de compactación apropiado es crucial para garantizar una distribución uniforme de la densidad y la resistencia en todo el estrato de suelo.
3. Pruebas de campo y de laboratorio: La realización de pruebas de campo y de laboratorio es fundamental para evaluar la eficacia de diferentes estrategias de compactación (Das, 2008). Estas pruebas incluyen la determinación de la densidad seca del suelo, la resistencia a la compresión y la distribución de tamaños de partículas antes y después del proceso de compactación. El análisis de los resultados de estas pruebas proporciona información valiosa sobre la eficacia de cada estrategia de compactación y ayuda a identificar posibles áreas de mejora.
4. Monitoreo y control de calidad: El monitoreo continuo y el control de calidad son esenciales durante la implementación de diferentes estrategias de compactación (Lambe & Whitman, 1979). El seguimiento regular de la densidad y la resistencia del suelo compactado permite realizar ajustes en tiempo real y garantizar que se logren los objetivos de densidad y resistencia deseados. El

control de calidad riguroso asegura que el suelo compactado cumpla con los estándares y especificaciones de ingeniería establecidos para la construcción.

5. Comparación de costos y eficiencia: La evaluación de diferentes estrategias de compactación también implica la comparación de los costos y la eficiencia de cada enfoque (Terzaghi et al., 1996). Esto incluye analizar los costos asociados con la adquisición y operación de equipos de compactación, así como los costos de mano de obra y tiempo requerido para implementar cada estrategia. La comparación de costos y eficiencia ayuda a determinar la viabilidad económica de cada enfoque y a tomar decisiones informadas sobre la estrategia de compactación más apropiada.

#### **2.2.4.2. Análisis comparativo de enfoques de compactación para condiciones particulares**

El análisis comparativo de enfoques de compactación para condiciones particulares es esencial en la evaluación de la efectividad y la idoneidad de diferentes métodos de compactación en entornos geotécnicos específicos (Holtz et al., 2011). Dado que cada sitio de construcción presenta condiciones únicas de suelo y ambientales, es crucial realizar un análisis detallado que tenga en cuenta las características específicas del proyecto. Algunos aspectos clave en el análisis comparativo de enfoques de compactación para condiciones particulares incluyen:

1. Características del suelo: Se debe realizar un análisis exhaustivo de las propiedades del suelo, como su tipo, contenido de humedad, distribución de tamaños de partículas y capacidad de soporte (Das, 2008). Este análisis permite comprender cómo estas características específicas del suelo afectarán la eficacia de los diferentes enfoques

de compactación y cuál sería el método más apropiado para lograr la densidad y resistencia deseadas.

2. Condiciones ambientales: La evaluación de las condiciones ambientales, como el clima local y la variabilidad estacional, es fundamental para comprender cómo estas condiciones pueden influir en la efectividad de los enfoques de compactación (Mitchell & Soga, 2005). Factores como la temperatura, la humedad y la presencia de lluvias pueden tener un impacto significativo en la eficiencia de la compactación y deben considerarse al comparar los diferentes métodos de compactación.
3. Análisis de costos y eficiencia: El análisis comparativo debe considerar los costos y la eficiencia de cada enfoque de compactación en relación con las condiciones particulares del sitio (Terzaghi et al., 1996). Esto implica evaluar los costos asociados con la adquisición y operación de equipos, el tiempo requerido para completar el proceso de compactación y los costos adicionales asociados con posibles retrasos debidos a condiciones climáticas adversas u otros factores externos.
4. Evaluación de la durabilidad y estabilidad a largo plazo: Se debe realizar un análisis de la durabilidad y estabilidad a largo plazo de la compactación del suelo en relación con los diferentes enfoques utilizados (Lambe & Whitman, 1979). Este análisis implica prever cómo la compactación del suelo resistirá las cargas y las condiciones ambientales a lo largo del tiempo, y cómo se comportará en términos de asentamientos y deformaciones, considerando las condiciones particulares del sitio.
5. Comparación de resultados de pruebas y rendimiento: La comparación de los resultados de las pruebas de campo y de

laboratorio entre los diferentes enfoques de compactación es esencial para determinar cuál método ha logrado los objetivos de densidad y resistencia establecidos para el proyecto específico (Das, 2008). El rendimiento real de cada enfoque en relación con las condiciones particulares del sitio puede proporcionar información valiosa para futuros proyectos y mejoras en las prácticas de compactación.

#### **2.2.5. Especificaciones Técnicas Generales para Construcción (EG-2013)**

Las Especificaciones Técnicas Generales para Construcción (EG-2013) son un conjunto de directrices y normativas técnicas utilizadas en el campo de la ingeniería civil y la construcción para garantizar la calidad, la seguridad y la durabilidad de las obras de infraestructura (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2013). Estas especificaciones se utilizan como referencia en la planificación, diseño, ejecución y supervisión de una amplia gama de proyectos de construcción, incluidos edificios, carreteras, puentes, presas y otras estructuras civiles.

Aunque la versión exacta puede variar según el país o la región, las EG-2013 suelen ser un marco integral que abarca múltiples aspectos técnicos y operativos relacionados con la construcción. Las EG-2013 abarcan una variedad de áreas y disciplinas de la ingeniería civil, que incluyen, entre otras, la cimentación, la estructura, la superestructura, los materiales de construcción, la compactación del suelo, el drenaje, las instalaciones eléctricas y mecánicas, y la seguridad en el lugar de trabajo.

Estas especificaciones establecen los estándares y los requisitos mínimos que deben cumplirse para garantizar la integridad estructural, la funcionalidad y la seguridad de las obras construidas. Las EG-2013 suelen detallar los procedimientos de construcción específicos, las metodologías de diseño recomendadas, los materiales aceptables y las tolerancias permitidas

durante la ejecución de un proyecto. Además, suelen incluir criterios de inspección y pruebas para verificar el cumplimiento de las normas establecidas, así como pautas para la evaluación de la calidad del trabajo y la resolución de posibles problemas durante el proceso de construcción.

Estas especificaciones técnicas generales se basan en la investigación y la experiencia acumulada en el campo de la ingeniería civil y la construcción, así como en estándares y códigos de construcción nacionales e internacionales reconocidos (American Society of Civil Engineers, 2016). Además, suelen ser actualizadas periódicamente para incorporar avances tecnológicos, cambios en los requisitos reglamentarios y nuevas prácticas recomendadas en la industria de la construcción.

Las EG-2013 desempeñan un papel crucial en la estandarización y la calidad de las obras de construcción, ya que ayudan a garantizar que los proyectos se lleven a cabo de manera eficiente, segura y económicamente viable. Al proporcionar directrices claras y específicas, las EG-2013 permiten a los ingenieros, contratistas y supervisores de proyectos planificar, diseñar y ejecutar obras de construcción con un enfoque técnico sólido y en consonancia con las mejores prácticas de la industria.

#### **2.2.6. Límites de Atterberg**

Los límites de Atterberg son un conjunto de límites líquidos y límites plásticos utilizados para caracterizar el comportamiento de los suelos, especialmente aquellos con propiedades cohesivas como arcillas y limos (Atterberg, 1911). Estos límites fueron desarrollados por el científico sueco Albert Atterberg a principios del siglo XX y se han convertido en una parte fundamental de la caracterización de suelos en ingeniería geotécnica y civil.

Los límites de Atterberg se dividen en tres parámetros principales: límite líquido (LL), límite plástico (LP) e índice de plasticidad (IP). Estos parámetros son críticos para comprender el comportamiento de los suelos cohesivos

durante el proceso de compactación, así como para predecir su capacidad de deformación y su resistencia a esfuerzos cortantes. A continuación se describe cada uno de estos límites en detalle:

1. Límite líquido (LL): El límite líquido es el contenido de humedad por debajo del cual un suelo se comporta como un líquido y por encima del cual se comporta como un sólido. Se define como el contenido de humedad en el cual un surco cortado en una muestra de suelo se cierra a una longitud de 12 mm en 25 golpes estándar en el aparato de límite líquido. Este límite es importante para comprender la plasticidad y la compresibilidad de los suelos y se utiliza para clasificarlos en función de su plasticidad.
2. Límite plástico (LP): El límite plástico es el contenido de humedad en el cual un suelo comienza a comportarse plásticamente y se puede moldear sin romperse. Se determina utilizando el método de rodillo de límite plástico y se define como el contenido de humedad en el cual una muestra de suelo se rompe en un hilo de 3 mm de diámetro. El límite plástico es esencial para comprender la capacidad del suelo para soportar cargas y deformaciones, y ayuda a evaluar su comportamiento durante la compactación y la construcción.
3. Índice de plasticidad (IP): El índice de plasticidad es la diferencia entre el límite líquido y el límite plástico y representa la amplitud de la gama de humedad en la cual un suelo se comporta plásticamente. Este parámetro proporciona información sobre la plasticidad y la compresibilidad del suelo y se utiliza para clasificar suelos en diferentes grupos, lo que ayuda a los ingenieros a comprender su comportamiento y tomar decisiones informadas sobre el diseño y la construcción de estructuras en esos suelos.

Los límites de Atterberg son fundamentales para la ingeniería geotécnica, ya que permiten comprender las propiedades de los suelos cohesivos y su comportamiento bajo cargas estáticas y dinámicas. La

determinación de estos límites es crucial para la planificación y el diseño de proyectos de construcción, así como para evaluar la estabilidad y la seguridad de las estructuras en diferentes condiciones geotécnicas.

### **2.2.7. Afirmados de Acuerdo a MTC**

La Sección 301 del Manual de Carreteras describe los requisitos y procedimientos para la construcción de afirmados, que consiste en la colocación de una o más capas de material granular seleccionado para servir como superficie de rodadura en carreteras no pavimentadas (Departamento de Transporte de California, 2018). Aquí está una descripción detallada de los datos técnicos basados en la Sección 301:

- **301.01 Afirmados:**

- Construcción de una o más capas de afirmado (material granular seleccionado).
- Puede ser obtenido en forma natural o procesado, con o sin estabilizadores de suelos.
- Los materiales aprobados provienen de canteras u otras fuentes.
- Incluye suministro, transporte, colocación y compactación del material.
- Debe cumplir con los alineamientos, pendientes y dimensiones indicadas en el Proyecto.
- Consideraciones ambientales según el Plan de Manejo Ambiental.

- **301.02 Materiales:**

- Uso de materiales granulares naturales o triturados, con características específicas.

- Deben cumplir con requisitos de calidad, incluyendo los límites de desgaste, límite líquido, índice de plasticidad y CBR (California Bearing Ratio).
- **301.03 Equipo:**
  - Uso de equipos específicos para la construcción, compactación y colocación del material.
- **301.04 Requerimientos de construcción:**
  - Procedimientos para la explotación de materiales y preparación de la superficie existente.
  - Transporte y colocación cuidadosa del material para evitar la contaminación ambiental.
  - Procedimientos para extensión, mezcla y conformación del material.
  - Protocolos de compactación para lograr la densidad especificada.
- **301.05 - 301.12 Aceptación de los trabajos, mediciones y pago:**
  - Procedimientos detallados para la aceptación de los trabajos, incluidos los controles de calidad.
  - Mediciones y ensayos para comprobar la calidad del material y el trabajo terminado.
  - Protocolos para el pago basados en la unidad de metro cúbico (m<sup>3</sup>) de material colocado.

Estos datos técnicos en la Sección 301 proporcionan una guía detallada para la construcción de afirmados en carreteras, garantizando la calidad y durabilidad de la superficie de rodadura y teniendo en cuenta consideraciones ambientales importantes.

### 2.3. Definición de términos básicos

1. **Compactación de suelos:** Proceso que implica la aplicación de esfuerzos mecánicos para reducir los vacíos en el suelo y aumentar su densidad.
2. **Equipos vibratorios:** Maquinaria diseñada para aplicar vibraciones al suelo durante la compactación, mejorando su densidad y capacidad de soporte.
3. **Densidad del suelo:** Relación entre la masa del suelo y su volumen, indicando su grado de compacidad.
4. **Resistencia a la compresión:** Capacidad del suelo para soportar cargas sin sufrir deformaciones plásticas o colapsos.
5. **Número de pasadas:** Cantidad de veces que un equipo vibratorio pasa sobre el mismo punto del suelo durante la compactación.
6. **Propiedades geotécnicas:** Características físicas y mecánicas del suelo, como granulometría, humedad y plasticidad, que influyen en su comportamiento.
7. **Ensayos de laboratorio:** Pruebas realizadas en un entorno controlado para evaluar propiedades del suelo, como el ensayo Proctor para determinar la densidad máxima.
8. **Ensayos de campo:** Pruebas realizadas en el sitio de construcción para evaluar propiedades del suelo en condiciones reales, como el ensayo de penetración estándar (SPT).
9. **Frecuencia de vibración:** Número de vibraciones completas generadas por un equipo en un intervalo de tiempo.
10. **Amplitud de vibración:** Magnitud máxima del movimiento vibratorio de un equipo, influyendo en la profundidad de influencia en el suelo.
11. **Estrategias de compactación:** Enfoques específicos para optimizar la compactación, que pueden incluir variación en frecuencia, amplitud y dirección de vibración.

12. **Saturación:** Punto en el que un incremento en el número de pasadas no produce mejoras significativas en densidad y resistencia del suelo compactado.
13. **Tecnología GPS:** Sistema de posicionamiento global que permite la ubicación y monitoreo precisos de equipos vibratorios en tiempo real.
14. **Análisis estadístico:** Proceso de interpretación de datos utilizando herramientas estadísticas para identificar patrones, relaciones y significancia.
15. **Mejores prácticas:** Enfoques y métodos respaldados por la experiencia y la investigación que se consideran más efectivos en una determinada actividad, como la compactación de suelos.

## **2.4. Formulación de hipótesis**

### **2.4.1. Hipótesis general**

El número óptimo de pasadas de equipos vibratorios para lograr la máxima densidad en la compactación de suelos se puede determinar a través del análisis de las características del suelo y las propiedades mecánicas de los equipos utilizados en la construcción del moderno terminal de Pasco.

### **2.4.2. Hipótesis específica**

- Las características físicas y mecánicas del suelo, como la granulometría, la humedad y la plasticidad, tienen un impacto significativo en la eficiencia de la compactación, afectando el número de pasadas necesarias para alcanzar la densidad óptima.
- La eficiencia de compactación varía significativamente entre diferentes tipos de equipos vibratorios, con algunos modelos logrando una densidad óptima con menos pasadas debido a sus características de diseño y operativas superiores.
- Configuraciones específicas de las pasadas, como ajustar la velocidad y el número de pasadas, optimizan la densidad y

uniformidad del suelo compactado, permitiendo alcanzar más rápidamente la compactación deseada.

- Existe una relación inversa entre el número de pasadas y la eficiencia energética de los equipos vibratorios; a medida que aumenta el número de pasadas, se incrementa el consumo de combustible y energía de manera no proporcional.
- Es posible desarrollar un modelo predictivo que estime con precisión el número óptimo de pasadas necesarias para alcanzar la densidad deseada, basándose en variables operativas y características del suelo.

## **2.5. Identificación de variables**

### **2.5.1. Variable independiente**

La **variable independiente** en este estudio es el **número de pasadas de los equipos vibratorios**. Esta es la variable que manipularás o variarás para observar cómo afecta la densidad del suelo. Al cambiar el número de pasadas, se espera ver cambios en la compactación del suelo, lo que te permite evaluar directamente el objetivo de tu investigación.

### **2.5.2. Variable dependiente**

La **variable dependiente** es la **densidad del suelo** tras la compactación. Es el efecto que se mide en el estudio y que se espera cambie como resultado de las variaciones en el número de pasadas de los equipos vibratorios. Esta variable es crucial para determinar la efectividad de las técnicas de compactación utilizadas.

### **2.5.3. Variable interviniente**

Las **variables intervinientes** son aquellas que pueden afectar la relación entre las variables independiente y dependiente. En este caso, incluyen:

- **Características físicas y mecánicas del suelo:** Esto incluye factores como la granulometría, contenido de humedad, y tipo de suelo (arcilloso, arenoso, etc.), que pueden influir en cómo el suelo responde a la compactación.
- **Tipo de equipo vibratorio utilizado:** Diferentes máquinas pueden tener diferentes eficacias, dependiendo de su diseño específico y características operativas (fuerza de vibración, frecuencia, etc.).
- **Eficiencia energética de los equipos:** Esto se refiere a cuánta energía consume un equipo para una pasada, lo que puede variar según el modelo y el estado del equipo.

## 2.6. Definición operacional de variables e indicadores

Tabla 1: Definición Operacional de variables e indicadores (Fuente: Propio)

Variable	Definición Conceptual	Definición Operacional	Dimensiones	Indicadores	Escala de Medición
<b>Número de pasadas</b>	Cantidad de veces que un equipo vibratorio pasa sobre una zona específica durante la compactación	Se medirá como el número total de pasadas completas que un equipo realiza sobre un tramo de prueba del suelo.	Número de pasadas	Total de pasadas completas	Cuantitativa, discreta
<b>Densidad del suelo</b>	Grado de compactación del suelo medido por su densidad	Se determinará mediante pruebas de densidad in situ, como el método del cono de arena o densímetros nucleares, después de cada serie de pasadas.	Densidad	Densidad medida en g/cm <sup>3</sup>	Cuantitativa, continua

<b>Características del suelo</b>	Propiedades físicas y mecánicas del suelo que afectan la compactación	Se analizarán mediante ensayos de laboratorio antes de la compactación, incluyendo análisis granulométrico, límites de Atterberg y ensayos de Proctor Modificado.	Granulometría, humedad, tipo de suelo	Porcentaje de arena, limo, arcilla; índice plástico, etc.	Cuantitativa, continua
<b>Tipo de equipo vibratorio</b>	Tipo de maquinaria usada para la compactación del suelo	Se categorizará según el modelo y las especificaciones técnicas del fabricante, como tipo de rodillo (liso, pata de cabra), frecuencia y fuerza de vibración.	Fuerza de vibración, tipo de rodillo	Modelo del equipo, fuerza de vibración	Cualitativa, nominal
<b>Eficiencia energética</b>	Relación entre el rendimiento de compactación y el consumo de energía de los equipos	Se medirá como el consumo de combustible o energía eléctrica por hora de operación de equipo y se relacionará con la densidad alcanzada.	Consumo de combustible, rendimiento	Litros de combustible por hora, densidad alcanzada	Cuantitativa, continua

## **CAPITULO III**

### **METODOLOGIA Y TECNICAS DE INVESTIGACION**

#### **3.1. Tipo de Investigación**

En este proyecto de investigación, hemos decidido emplear el tipo de investigación experimental. Esta elección se fundamenta en la necesidad de manipular variables y observar relaciones de causa y efecto en el contexto de la compactación de suelos en la construcción del moderno terminal de Pasco en 2023.

En la investigación experimental, se tuvo la oportunidad de manipular la variable independiente, que en este caso es el número de pasadas de equipos vibratorios utilizadas en la compactación. Al variar este número de pasadas, podremos observar cómo afecta directamente a las variables dependientes, que son la densidad y resistencia del suelo compactado. Esta manipulación permitió establecer relaciones claras y determinar si existe una conexión causal entre el número de pasadas y las propiedades del suelo compactado.

Una ventaja clave de la investigación experimental es la capacidad de controlar las variables intervinientes. Pudimos medir y controlar factores como el tipo de suelo, la humedad, las propiedades geotécnicas y las condiciones climáticas para asegurarnos de que no distorsionen los resultados. Y esto aumentó la confiabilidad y la validez interna de nuestros hallazgos.

Al recopilar datos cuantitativos y analizarlos mediante pruebas estadísticas, pudimos evaluar la significancia de las diferencias observadas en la densidad y resistencia del suelo compactado en relación con el número de pasadas. Esto permitió respaldar nuestros resultados con evidencia numérica sólida y tomar decisiones informadas sobre el número óptimo de pasadas para lograr una compactación eficiente.

### **3.2. Nivel de investigación**

En el proyecto de investigación, nos encontramos realizando una investigación aplicada. Esta elección se basa en la necesidad de abordar un problema específico en un contexto real y aplicar los resultados obtenidos en la construcción del moderno terminal de Pasco en 2023.

La investigación aplicada implica más que la generación de conocimiento teórico. En nuestro caso, estuvimos buscando soluciones prácticas y aplicables para determinar el número óptimo de pasadas de equipos vibratorios en el proceso de compactación del suelo en la obra de construcción. Estábamos enfocando nuestros esfuerzos en resolver un problema concreto y brindar recomendaciones que tengan un impacto directo en la eficiencia y calidad del proceso de construcción.

A través de nuestra investigación, no solo buscamos comprender la relación entre el número de pasadas y las propiedades del suelo compactado, sino que también pretendemos contribuir a la toma de decisiones informadas en la obra. Mis resultados se aplicaron directamente en la optimización de la compactación del suelo en el moderno terminal de Pasco, lo que tendrá un impacto tangible en la calidad y durabilidad de la infraestructura construida.

### **3.3. Método de investigación**

El método de investigación que estuvimos utilizando en nuestro proyecto es el **método experimental**. Este enfoque nos permitió realizar una serie de

pruebas controladas y sistemáticas para investigar la relación entre el número de pasadas de equipos vibratorios y las propiedades del suelo compactado en el moderno terminal de Pasco en 2023.

En el método experimental, manipulamos deliberadamente la variable independiente, que en este caso era el número de pasadas, para observar cómo afectaba directamente la densidad y resistencia del suelo compactado, que eran las variables dependientes. Realizamos mediciones precisas de estas variables dependientes en diferentes escenarios de pasadas, lo que nos permitió recopilar datos cuantitativos para un análisis más riguroso.

Para garantizar la validez y confiabilidad de nuestros resultados, aplicamos controles estrictos. Consideramos y controlamos factores intervinientes como el tipo de suelo, la humedad y otras propiedades geotécnicas. Esto nos ayudó a aislar el efecto real del número de pasadas en las propiedades del suelo compactado.

La realización de pruebas estadísticas sobre los datos recopilados nos permitió identificar patrones y relaciones significativas entre las variables. Esto nos ayudó a respaldar nuestros hallazgos con evidencia numérica sólida y a tomar decisiones informadas sobre el número óptimo de pasadas para lograr una compactación eficiente en la construcción del moderno terminal de Pasco.

#### **3.4. Diseño de la investigación**

En cuanto al diseño de nuestra investigación, optamos por utilizar un diseño experimental, específicamente un diseño de grupos de control y experimental. Esto nos permitió evaluar de manera precisa cómo el número de pasadas de equipos vibratorios afectaba la densidad y resistencia del suelo compactado en el moderno terminal de Pasco en 2023.

En este diseño, dividimos el sitio de construcción en varias áreas homogéneas. Una de estas áreas fue el grupo experimental, donde variamos el número de pasadas de equipos vibratorios para observar su impacto en la

densidad y resistencia del suelo compactado. El otro grupo, el grupo de control, mantuvo el número de pasadas constante como referencia.

Al alternar entre los dos grupos, pudimos reducir el efecto de variables intervinientes no controladas. Esto nos permitió aislar mejor el impacto del número de pasadas en las propiedades del suelo compactado. Llevamos a cabo mediciones precisas de densidad y resistencia en ambas áreas para obtener datos comparativos confiables.

La asignación aleatoria de áreas a los grupos ayudó a mitigar el sesgo y garantizó que los grupos fueran comparables. Además, registramos información detallada sobre las condiciones geotécnicas, el tipo de suelo, la humedad y otras variables que pudieran afectar los resultados.

### **3.5. Población y muestra**

#### **3.5.1. Población**

La población de estudio comprende todas las áreas de suelo en el sitio de construcción del moderno terminal de Pasco donde se ejecutarán operaciones de compactación durante el año 2023. Esta población es extensa y variada, incluyendo diversos tipos de suelo, bajo distintas condiciones de humedad. Desde una perspectiva técnica, la población incluye todas las configuraciones de compactación que se llevarán a cabo con diferentes tipos de equipos vibratorios a lo largo del proyecto. El enfoque poblacional permite explorar la influencia de múltiples factores como la granulometría del suelo, el contenido de humedad, y las características operativas de los equipos en la eficacia de la compactación.

#### **3.5.2. Muestra**

Para este estudio, la muestra se seleccionará siguiendo un criterio estratégico que garantice representatividad y diversidad, permitiendo generalizar los resultados a toda la población de estudio. La muestra se definirá basándose en:

- **Zonas del sitio de construcción:** Selección de áreas que representen variaciones significativas en el tipo de suelo y las condiciones de humedad. Esto incluirá zonas con suelos predominantemente arcillosos, limosos y arenosos, así como áreas con diferencias notables en el nivel de humedad.
- **Configuración de las pasadas de compactación:** Inclusión de diferentes rangos de número de pasadas (bajo, medio, alto) aplicadas en múltiples zonas del proyecto, proporcionando una amplia gama de datos sobre la relación entre el número de pasadas y la densidad del suelo alcanzada.
- **Diversidad de equipos vibratorios:** Evaluación del efecto de distintos tipos de equipos, incluyendo rodillos lisos, rodillos pata de cabra, y placas vibratorias, para determinar cómo cada tipo de equipo afecta la compactación.
- **Variabilidad de las condiciones ambientales:** Realización de pruebas durante condiciones climáticas variadas, como días con diferentes grados de humedad y temperatura, para evaluar cómo estas condiciones afectan la eficiencia de la compactación.

### 3.6. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Las **técnicas e instrumentos de recolección de datos** que utilizamos en nuestra investigación son esenciales para obtener información precisa y confiable sobre cómo el número de pasadas de equipos vibratorios afecta las propiedades del suelo compactado en el moderno terminal de Pasco en 2023. Aquí están las técnicas e instrumentos que se empleó:

1. **Mediciones Directas de Densidad y Resistencia:** se utilizaron densímetros y equipos de pruebas de resistencia a la compresión para medir directamente la densidad y la resistencia del suelo compactado en diferentes áreas del sitio de construcción.
2. **Equipos Vibratorios y GPS:** se emplearon equipos vibratorios controlados para realizar las pasadas sobre el suelo en las áreas de prueba. Además,

utilizaré tecnología GPS para rastrear la ubicación y el número de pasadas con precisión.

3. **Herramientas de Muestreo:** se recolectaron muestras de suelo en áreas seleccionadas para llevar a cabo pruebas de laboratorio que ayudaron a validar los resultados obtenidos en el campo.
4. **Pruebas Geotécnicas:** se realizaron pruebas de laboratorio para analizar las propiedades geotécnicas del suelo, como granulometría, plasticidad y permeabilidad. Esto permitió comprender mejor el comportamiento del suelo en relación con el número de pasadas.
5. **Herramientas de Análisis Estadístico:** se empleó software de análisis estadístico para procesar los datos recopilados y determinar la significancia de las diferencias observadas en las propiedades del suelo compactado.

### **3.7. Técnicas de procesamiento y análisis de datos**

Las técnicas de procesamiento y análisis de datos que se utilizaron en nuestra investigación fueron fundamentales para obtener conclusiones significativas respaldadas por evidencia a partir de los datos recopilados. A continuación, se detallan las técnicas empleadas:

1. **Análisis Estadístico Descriptivo:** Se realizó un análisis descriptivo inicial para resumir y presentar los datos recopilados. Se emplearon medidas como promedios, medianas y desviaciones estándar para describir las propiedades del suelo compactado en diferentes escenarios de pasadas.
2. **Pruebas de Significancia:** Se utilizaron pruebas estadísticas, como la Prueba t de Student o el Análisis de Varianza (ANOVA), para determinar la significancia estadística de las diferencias observadas en las propiedades del suelo compactado entre los diferentes números de pasadas.
3. **Comparaciones de Muestras:** Se realizaron comparaciones entre las muestras de suelo sometidas a diferentes números de pasadas utilizando

gráficos, tablas y análisis estadísticos para resaltar las diferencias y similitudes.

4. **Correlación:** Se evaluó la correlación entre el número de pasadas y las propiedades del suelo compactado para determinar la fuerza y dirección de la relación entre estas variables.
5. **Análisis de Variables Intervinientes:** Se investigó cómo las variables intervinientes, como el tipo de suelo o las condiciones climáticas, pudieron influir en las relaciones observadas entre el número de pasadas y las propiedades del suelo.
6. **Software de Análisis:** Se utilizaron herramientas de software estadístico, como SPSS o R, para realizar los análisis mencionados y generar gráficos visuales que ayudaron a interpretar los resultados.
7. **Interpretación y Conclusiones:** A partir de los resultados obtenidos mediante las técnicas de análisis, se desarrollaron interpretaciones respaldadas por evidencia sólida y se llegó a conclusiones sobre cómo el número de pasadas influye en las propiedades del suelo compactado en el moderno terminal de Pasco.

### **3.8. Tratamiento estadístico**

El tratamiento estadístico es un aspecto esencial de nuestra investigación para garantizar la validez y confiabilidad de los resultados obtenidos. A continuación, se describen los enfoques de tratamiento estadístico que se aplicaron:

1. **Normalización de Datos:** Se verificó si los datos cumplían con la distribución normal y, en caso necesario, se aplicaron técnicas de normalización para asegurar la validez de los análisis posteriores.
2. **Pruebas de Significancia:** Se emplearon pruebas estadísticas apropiadas, como la Prueba t de Student o el Análisis de Varianza (ANOVA), para evaluar la significancia de las diferencias observadas en las propiedades

del suelo compactado entre los diferentes números de pasadas. Esto permitió determinar si las diferencias eran aleatorias o estadísticamente significativas.

3. **Análisis de Correlación:** Se utilizó análisis de correlación para examinar la relación entre el número de pasadas y las propiedades del suelo compactado, identificando la dirección y la fuerza de la relación entre estas variables.
4. **Análisis de Regresión:** Cuando fue relevante, se aplicó análisis de regresión para modelar la relación entre el número de pasadas y las propiedades del suelo compactado, permitiendo predecir cómo cambiaban las propiedades del suelo en función del número de pasadas.
5. **Comparaciones Múltiples:** Se realizaron pruebas de comparaciones múltiples, como el test de Tukey, para identificar qué grupos específicos de pasadas presentaban diferencias significativas en términos de propiedades del suelo.
6. **Análisis de Variables Intervinientes:** Se investigó cómo las variables intervinientes influían en las relaciones observadas y, si fue necesario, se aplicó análisis de covarianza para controlar su influencia.
7. **Gráficos y Visualizaciones:** Se utilizaron gráficos y visualizaciones adecuadas, como diagramas de dispersión y gráficos de barras, para ilustrar claramente las relaciones y diferencias encontradas en los datos.
8. **Interpretación y Comunicación:** Los resultados se interpretaron de manera coherente y comprensible, asegurándose de que las conclusiones estuvieran basadas en el análisis estadístico y respaldadas por evidencia sólida.

### **3.9. Orientación ética filosófica y epistémica**

La orientación ética, filosófica y epistémica desempeña un papel crucial en nuestra investigación, asegurando que todo el proceso se lleve a cabo de

manera ética, sólidamente fundamentada y con respeto a los principios filosóficos y epistémicos. A continuación, se detallan los aspectos clave de esta orientación:

**Ética:**

- **Integridad en la Recopilación y Análisis de Datos:**
  - Se garantizó la integridad en cada etapa del proceso, evitando cualquier forma de manipulación indebida o sesgo en la presentación de resultados.
- **Confidencialidad y Privacidad:**
  - Se respetó la confidencialidad y privacidad de los participantes y operadores involucrados en la investigación. Se obtuvo su consentimiento informado y se aseguró de proteger su identidad de manera integral.
- **Cumplimiento de Estándares Éticos y Regulaciones:**
  - Se cumplió con los estándares éticos y regulaciones pertinentes, garantizando que todas las acciones emprendidas no causaran daño ni pusieran en riesgo a las personas o al medio ambiente.

**Filosofía:**

- **Enfoque Epistemológico Objetivo:**
  - Se adoptó un enfoque epistemológico basado en la objetividad y la búsqueda de la verdad. El objetivo primordial fue comprender de manera imparcial y fundamentada cómo el número de pasadas influye en las propiedades del suelo.
- **Reconocimiento de la Epistemología Constructivista:**
  - Se reconoció la importancia de la epistemología constructivista, permitiendo interpretar los resultados a la luz del contexto y las perspectivas de los involucrados.

### **Epistemología:**

- **Naturaleza Provisional del Conocimiento:**

- Se comprendió la naturaleza provisional del conocimiento, reconociendo que las conclusiones eran válidas en función de los datos y el contexto actuales. Se aceptó que podrían evolucionar con nuevos descubrimientos.

- **Integración de Perspectivas Multidisciplinarias:**

- Se integró la perspectiva de múltiples disciplinas para lograr una comprensión más completa de las relaciones entre el número de pasadas y las propiedades del suelo compactado. Este enfoque multidisciplinario enriqueció la investigación y su validez.

Esta orientación ética, filosófica y epistémica proporciona los cimientos necesarios para llevar a cabo una investigación rigurosa y ética, respetando tanto a los participantes como a los principios fundamentales de la investigación científica.

## **CAPITULO IV**

### **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

#### **4.1. Descripción del trabajo de campo**

##### **4.1.1. Cómo varía la densidad del suelo compactado al incrementar el número de pasadas**

Se realizó la definición de las áreas específicas dentro del terminal de Pasco para llevar a cabo las pruebas de compactación con el equipo correspondiente. Se llevó a cabo la preparación inicial del suelo, que incluyó la remoción de material orgánico, la nivelación y el humedecimiento para mantener condiciones controladas. El proceso se llevó a cabo de la siguiente manera:

##### **A. Selección y Preparación de la Zona de Muestreo**

En el proceso de compactación de suelos, la selección adecuada de la zona de muestreo fue crucial para obtener resultados representativos y consistentes. Se identificó un área que reflejaba las características geotécnicas generales del sitio de construcción y permitía la realización de pruebas sin interferencias. La preparación de esta zona aseguró que las condiciones fueran controladas y estandarizadas, eliminando variables externas que pudieran afectar la compactación.

**1. Reconocimiento y Evaluación del Terreno:** Se llevó a cabo un reconocimiento detallado del terreno en el terminal de Pasco,

identificando áreas potenciales que fueran representativas de las condiciones generales del suelo en el proyecto. Se tomaron en cuenta aspectos como la homogeneidad del suelo, la accesibilidad para el equipo y la distancia de zonas de perturbación.

2. **Selección Final y Demarcación:** Basándose en las observaciones y pruebas iniciales, se seleccionó la zona más adecuada para el muestreo. Se delimitó claramente el área de muestreo utilizando estacas, cintas o marcadores visibles.
3. **Acondicionamiento de la Zona:** Se procedió al acondicionamiento de la zona, eliminando obstáculos, vegetación y escombros que pudieran interferir con las pruebas de compactación. Se utilizó herramientas o maquinaria para nivelar y preparar la superficie, asegurando que fuera uniforme y libre de irregularidades.
4. **Registro de Condiciones Iniciales:** Se registraron las condiciones iniciales, incluyendo condiciones climáticas y ambientales como temperatura y humedad, que podían influir en las pruebas de compactación. Se realizó un registro detallado, tanto escrito como fotográfico, de la zona seleccionada antes de iniciar cualquier prueba.

Estos pasos aseguraron que la zona de muestreo seleccionada fuera ideal para las pruebas de compactación, permitiendo obtener datos consistentes y confiables para determinar cómo variaba la densidad del suelo compactado al incrementar el número de pasadas con equipos vibratorios.

## **B. Equipos Vibratorios Utilizados y Características Operativas**

La compactación del suelo es una actividad crítica en cualquier proyecto de construcción, y la elección del equipo vibratorio adecuado puede influir significativamente en el resultado. Es esencial identificar y comprender las características y capacidades operativas de los equipos utilizados en el proceso de compactación. Esta información es vital para garantizar que las

condiciones de compactación se mantengan constantes y para interpretar de manera efectiva los resultados obtenidos.

1. **Inventario y Descripción de Equipos:** Listado de todos los equipos vibratorios disponibles para el proyecto, incluyendo marca, modelo, y año de fabricación. Documentación de características técnicas esenciales, como peso operativo, frecuencia de vibración y amplitud.
2. **Parámetros Operativos Establecidos:** Se establecieron parámetros operativos, definiendo las condiciones estándar bajo las cuales se realizarían las pruebas, como velocidad de avance y frecuencia de vibración. Se aseguró que estos parámetros estuvieran alineados con las recomendaciones del fabricante y las Normas Técnicas Peruanas (NTP) y American Society for Testing and Materials (ASTM) D698.
3. **Calibración y Mantenimiento de Equipos:** se llevó una revisión técnica de los equipos para asegurarse de que estén en condiciones óptimas de operación. Calibrar, si es necesario, los sistemas de vibración para garantizar la precisión y consistencia en las pruebas.
4. **Capacitación y Conocimientos del Operador:** Se confirmó que los operadores de los equipos vibratorios estuvieran adecuadamente capacitados y familiarizados con las características y límites operativos de los equipos que manejaban. Se destacó la importancia de seguir las condiciones operativas definidas para garantizar la validez de los resultados obtenidos.
5. **Registro Continuo de Operaciones:** se mantuvo un registro detallado de cada pasada realizada con el equipo, incluyendo parámetros como tiempo, velocidad, número de pasadas y cualquier variación observada durante la operación. Esta documentación permitirá un análisis posterior más detallado y ayudará a interpretar los resultados de compactación en función de las operaciones realizadas.

Con estos pasos y la documentación adecuada de los equipos vibratorios y sus operaciones, se busca garantizar que las pruebas de compactación se realicen bajo condiciones controladas y reproducibles, lo cual es fundamental para interpretar cómo varía la densidad del suelo al incrementar el número de pasadas.

### **C. Procedimiento de Compactación y Muestreo por Incremento de Pasadas**

El proceso de compactación del suelo es esencial para garantizar la estabilidad y durabilidad de las estructuras construidas sobre él. Establecer un procedimiento de compactación y muestreo por incremento de pasadas permite identificar cómo la densidad del suelo varía en función del número de pasadas con equipos vibratorios. Este procedimiento sistemático asegura que cada muestra tomada represente un número específico de pasadas, proporcionando una base para el análisis comparativo de los resultados.

- 1. Preparación Inicial del Suelo:** consistió en humedecer el suelo hasta alcanzar su contenido óptimo de humedad, según los ensayos previos y las recomendaciones de las normativas correspondientes. Se extendió y niveló el suelo preparado en la zona de muestreo.
- 2. Definición de Incrementos de Pasadas:** se definió una secuencia de incremento de pasadas, por ejemplo: 1, 2, 4, 6, 8, 10 pasadas. Asegurarse de que este rango cubra el espectro completo desde la compactación mínima hasta la máxima prevista.
- 3. Compactación por Incremento de Pasadas:** Se inició la compactación por incremento de pasadas con el primer incremento definido (por ejemplo, una pasada) y se compactó el suelo utilizando los parámetros operativos previamente establecidos. Una vez

completado, se separó una porción del suelo compactado para muestreo.

4. **Muestreo y Etiquetado:** Se utilizaron cilindros de muestreo o herramientas similares para extraer muestras del suelo compactado, etiquetando cada muestra claramente con el número de pasadas correspondiente y otros detalles relevantes (fecha, hora, condiciones climáticas).
5. **Repetición del Procedimiento para Sigüientes Incrementos:** Se repitió el procedimiento para los sigüientes incrementos, preparando nuevamente el suelo y repitiendo el proceso de compactación y muestreo hasta completar todos los incrementos definidos.
6. **Almacenamiento y Transporte de Muestras:** Las muestras extraídas se almacenaron en condiciones que evitaban su alteración o contaminación. Si era necesario transportarlas al laboratorio, se aseguraron de que estuvieran debidamente embaladas y etiquetadas.

Sigüiendo este procedimiento, se obtendrán muestras representativas de la compactación del suelo en función del número de pasadas. Estas muestras sirvieron como base para los ensayos y análisis posteriores que determinarán cómo la densidad del suelo compactado varía con el número de pasadas realizadas con equipos vibratorios.

#### **D. Medición y Registro de Densidad In Situ**

La medición de la densidad in situ del suelo compactado es esencial para determinar la eficacia del proceso de compactación y la relación entre el número de pasadas de los equipos vibratorios y la densidad alcanzada. Esta medición proporciona datos directos sobre las propiedades del suelo después de la compactación, lo cual es crucial para cumplir con las normas de construcción y garantizar la estabilidad del suelo bajo las estructuras.

1. **Selección del Método de Medición:** se seleccionó un método de medición de densidad in situ adecuado, basado en las recomendaciones de las Normas Técnicas Peruanas (NTP) y el American Society for Testing and Materials (ASTM) D698. Los métodos comunes incluyen el método del cono de arena y el método del cilindro nuclear.
2. **Preparación del Sitio para Medición:** se seleccionaron varios puntos dentro del área compactada para realizar las mediciones, asegurándose de que estén distribuidos de manera uniforme. Preparar la superficie del suelo en cada punto de medición, eliminando piedras o partículas sueltas que puedan interferir con la medición.
3. **Realización de las Mediciones:** Siguiendo las instrucciones específicas del método seleccionado, se llevaron a cabo las mediciones de densidad en cada punto preparado. Fue crucial garantizar la precisión en este paso, evitando errores o variaciones en el procedimiento.
4. **Registro Detallado de Resultados:** Se registró detalladamente cada medición obtenida, junto con la ubicación específica, el número de pasadas realizadas en esa área y otros detalles relevantes como las condiciones ambientales. Se utilizaron instrumentos de medición calibrados y en buen estado para asegurar la precisión de los resultados.
5. **Análisis Preliminar en Campo:** Se realizó un análisis preliminar en campo comparando las mediciones obtenidas con las especificaciones o valores de referencia recomendados por el Reglamento Nacional de Edificaciones (RNE) y otros estándares aplicables. Se identificaron áreas donde la densidad pudiera estar por debajo de lo esperado y se consideraron medidas correctivas inmediatas.

- 6. Almacenamiento y Resguardo de Datos:** Se conservaron todos los registros en un formato organizado, preferiblemente digitalizado, para facilitar su posterior análisis y presentación. Se aseguró la integridad y seguridad de los datos, evitando posibles pérdidas o modificaciones.

A través de este proceso estructurado de medición y registro, se obtuvo una representación clara y fidedigna de la densidad del suelo compactado in situ, permitiendo una evaluación precisa de cómo variaba esta densidad con el incremento del número de pasadas de los equipos vibratorios en el sitio de construcción.

#### **4.1.2. Qué manera el número de pasadas de equipos vibratorios influye en la resistencia a la compresión**

Se realizó un registro inicial de las áreas específicas dentro del terminal de Pasco para llevar a cabo las pruebas. Y se realizó la preparación inicial del suelo: remoción de material orgánico, nivelación y humedecimiento para mantener condiciones controladas. Considerando un clima óptimo para la preparación de la muestra correspondiente. El proceso se llevo a cabo de la siguiente manera:

##### **A. Determinación de Áreas de Ensayo y Condiciones Iniciales del Suelo**

Para evaluar cómo el número de pasadas de equipos vibratorios afecta la resistencia a la compresión del suelo, es vital comenzar identificando adecuadamente las áreas de ensayo y comprendiendo las condiciones iniciales del suelo. Esta etapa preparatoria garantiza que las mediciones y análisis subsiguientes sean consistentes y comparables, y que reflejen las condiciones reales del sitio de construcción del moderno terminal de Pasco.

- 1. Identificación y Selección de Áreas de Ensayo:** se escogieron zonas representativas del área de construcción que abarquen distintas características topográficas y geotécnicas. Para delimitar y marcar

claramente estas áreas para facilitar su identificación y evitar interferencias durante los ensayos.

2. **Recolección de Muestras Iniciales:** se tomaron muestras del suelo de cada área de ensayo identificada, garantizando que sean representativas de las condiciones iniciales antes de cualquier actividad de compactación. Y se etiquetaron y almacenaron estas muestras adecuadamente para su posterior análisis en laboratorio.
3. **Análisis Geotécnico Inicial:** se llevar a cabo ensayos de laboratorio en las muestras recolectadas para determinar propiedades básicas del suelo como humedad, granulometría, límites de Atterberg, entre otros. Y se registró estos datos para tener un punto de referencia sobre las condiciones iniciales del suelo en cada área de ensayo.
4. **Registro de Condiciones Ambientales:** Documentar las condiciones climáticas y ambientales durante el período de muestreo y análisis, dado que factores como la temperatura y la humedad influyeron en los resultados. Asimismo se consideraron la utilización de instrumentos como estaciones meteorológicas portátiles para obtener datos precisos.
5. **Preparación de Informe Preliminar:** se elaboró un informe que detalle las áreas de ensayo seleccionadas, las propiedades iniciales del suelo determinadas y las condiciones ambientales registradas. Este informe sirvió como base para la planificación de los ensayos de compactación y resistencia a la compresión.

Al concluir esta fase de determinación de áreas de ensayo y análisis de condiciones iniciales del suelo, se estableció una base sólida y bien documentada para proceder con los ensayos de compactación y medición de resistencia a la compresión, garantizando que los resultados obtenidos sean representativos y válidos para el proyecto en cuestión.

## **B. Descripción de Equipos Vibratorios y Protocolo de Pasadas**

En el contexto de la compactación de suelos, los equipos vibratorios juegan un papel crucial al influir directamente en la resistencia a la compresión del suelo. Es esencial comprender en detalle las características y operación de estos equipos, así como estandarizar el protocolo de pasadas, para garantizar que los resultados obtenidos sean coherentes y reproducibles.

- 1. Características de los Equipos Vibratorios:** se detalló la marca, modelo y especificaciones técnicas de los equipos vibratorios a emplearse, resaltando características clave como frecuencia y amplitud de vibración, peso operativo, entre otros. Y se incluyó información sobre el mantenimiento y calibración de los equipos para asegurar su óptimo funcionamiento.
- 2. Preparación y Calibración del Equipo:** Antes de iniciar las actividades de compactación, fue vital verificar y calibrar los equipos vibratorios para garantizar que trabajen de acuerdo con sus especificaciones. Y asimismo se consideró la realización de pruebas piloto en áreas controladas para validar el correcto desempeño del equipo.
- 3. Definición del Protocolo de Pasadas:** se estableció, basándose en las Normas Técnicas Peruanas (NTP) y el American Society for Testing and Materials (ASTM) D698, un protocolo estandarizado que definió el número de pasadas, la velocidad de avance y la superposición entre pasadas. Este protocolo buscó garantizar que cada área de ensayo reciba el mismo tratamiento, facilitando la comparación entre resultados.
- 4. Registro de Parámetros Operativos:** Durante la ejecución de las pasadas, se registró continuamente parámetros como la velocidad de operación, número de pasadas realizadas, condiciones ambientales, entre otros. Esta información fue vital para relacionar las condiciones

de compactación con la resistencia a la compresión obtenida posteriormente.

- 5. Seguridad y Buenas Prácticas Operativas:** se aseguró de que el equipo y los operadores cumplan con todas las medidas de seguridad, evitando riesgos durante la operación. Y resaltar la importancia de seguir buenas prácticas operativas, evitando acciones que puedan comprometer la uniformidad de la compactación.

Con este detallado enfoque en la descripción y protocolo de los equipos vibratorios, se garantizó que la compactación se realice de manera uniforme y controlada en todas las áreas de ensayo. Esto, a su vez, permitió obtener datos confiables sobre cómo el número de pasadas influencia la resistencia a la compresión del suelo en el moderno terminal de Pasco.

### **C. Métodos de Ensayo de Resistencia a la Compresión**

Para entender completamente cómo el número de pasadas de equipos vibratorios influye en la resistencia a la compresión del suelo, es esencial emplear métodos de ensayo adecuados y estandarizados. Estos ensayos deben ser seleccionados y llevados a cabo meticulosamente, garantizando que se obtengan resultados precisos y consistentes que reflejen de manera fiel las propiedades del suelo compactado en el terminal de Pasco.

- 1. Selección de Métodos de Ensayo:** se eligió los métodos de ensayo basándose en las Normas Técnicas Peruanas (NTP) y el American Society for Testing and Materials (ASTM) D698, asegurando que sean adecuados para las características específicas del suelo de la zona.
- 2. Preparación de las Muestras:** se extrajo muestras representativas del suelo compactado de las áreas de ensayo, asegurándose de no alterar su estructura durante la extracción. Se almacenó y preparar las

muestras de acuerdo con las especificaciones de los métodos de ensayo seleccionados.

- 3. Realización del Ensayo de Compresión Uniaxial:** Si este es uno de los métodos elegidos, se aplicó una carga vertical gradualmente hasta que la muestra falle o se deforme. Y se registró la carga máxima soportada y cualquier otro parámetro relevante para determinar la resistencia a la compresión.
- 4. Análisis y Registro de Resultados:** Una vez concluidos los ensayos, analizar los resultados se determinó la resistencia a la compresión del suelo bajo distintas condiciones y números de pasadas. Y se registró de forma sistemática y organizada todos los datos y observaciones.
- 5. Validación y Repetición de Ensayos:** Para asegurar la confiabilidad de los resultados, fue recomendable realizar repeticiones de los ensayos en diferentes muestras y comparar los resultados. Por lo que se validó los datos obtenidos con expertos y mediante el uso de software especializado para análisis geotécnico.

Con un enfoque metódico y riguroso en los ensayos de resistencia a la compresión, se pudieron obtener perspectivas claras y confiables sobre la relación entre el número de pasadas de equipos vibratorios y las propiedades resistentes del suelo. Estas perspectivas fueron cruciales para tomar decisiones informadas en el proyecto de construcción del moderno terminal de Pasco.

#### **D. Registro de Resultados y Observaciones**

El registro adecuado y sistemático de los resultados y observaciones obtenidos durante las pruebas de campo es fundamental para asegurar que se puedan interpretar y analizar correctamente más adelante. El registro debe ser claro, estructurado y detallado para permitir que tanto el equipo de

trabajo actual como futuros equipos de investigación puedan entender y utilizar los datos con precisión.

1. **Preparación del Formato de Registro:** se diseñó y se estandarizó formatos de registro basados en las Normas Técnicas Peruanas (NTP) y el American Society for Testing and Materials (ASTM) D698, que faciliten la inclusión de todos los datos relevantes. El formato debe incluir espacios para datos básicos como fecha, hora, ubicación, equipo utilizado, entre otros.
2. **Documentación de Resultados de Ensayo:** se registró de manera inmediata los valores obtenidos en cada ensayo, evitando posibles olvidos o inexactitudes. Y se Incluyó valores numéricos, unidades y cualquier otro detalle específico del ensayo, como condiciones de confinamiento en el ensayo triaxial, por ejemplo.
3. **Inclusión de Observaciones Adicionales:** se anotó cualquier circunstancia o condición atípica durante el ensayo que pueda haber influido en los resultados. Y estas observaciones pudieron incluir, por ejemplo, condiciones climáticas, interrupciones durante la prueba, o comportamientos inesperados del suelo.
4. **Fotografías y Registros Visuales:** se tomaron fotografías claras de las muestras antes y después del ensayo, así como del equipo y el proceso en sí. Y las imágenes proporcionaron información valiosa que no se capta en registros numéricos. Y se aseguró de etiquetar y archivar correctamente las imágenes para facilitar su posterior consulta.
5. **Validación de Datos y Control de Calidad:** Una vez registrados los datos, se revisó y se validó la información para garantizar su precisión y coherencia. Para considerar la posibilidad de realizar una auditoría interna o una revisión por parte de un experto para garantizar la calidad de los registros.

6. **Almacenamiento y Respaldo de la Información:** se guardó todos los registros en un lugar seguro y de fácil acceso para el equipo de investigación. Y se realizó respaldos periódicos de la información, tanto en medios físicos como digitales, para evitar pérdidas accidentales.

La meticulosa documentación y registro de los datos obtenidos en el campo fueron esenciales para la interpretación correcta y la toma de decisiones informadas en el proyecto. Un registro adecuado aseguró que el trabajo de campo realizado aporte valor real y sostenible al proyecto de construcción del moderno terminal de Pasco.

#### **E. Comparativa de Resistencia Versus Número de Pasadas**

Analizar la relación entre el número de pasadas de los equipos vibratorios y la resistencia a la compresión del suelo es crucial para determinar la eficacia de la compactación. Esta comparativa permitirá identificar patrones y relaciones que podrán ser utilizados para optimizar los procesos de compactación y garantizar la estabilidad y seguridad del terminal de Pasco.

1. **Recopilación de Datos:** se aseguró de tener todos los registros de resistencia a la compresión del suelo para cada número de pasadas realizado. Y también de confirmar que los datos estén completos, validados y libres de errores o inconsistencias.
2. **Preparación de la Base de Datos:** se organizó la información en una tabla o software especializado, donde cada fila represente un ensayo diferente y las columnas muestren el número de pasadas y la resistencia correspondiente. Para incluir cualquier otra variable relevante que pueda influir en los resultados, como condiciones ambientales o tipo de suelo.
3. **Análisis Gráfico:** se generó gráficos de dispersión que representen la resistencia a la compresión en función del número de pasadas. Y se

utilizó herramientas de análisis de tendencias para identificar posibles patrones o relaciones lineales.

4. **Análisis Estadístico:** se empleó técnicas estadísticas adecuadas, basadas en las Normas Técnicas Peruanas (NTP) y el American Society for Testing and Materials (ASTM) D698, para determinar si la relación observada es estadísticamente significativa. Y se evaluó la correlación y, si es necesario, aplicar modelos de regresión para predecir la resistencia a la compresión con un determinado número de pasadas.
5. **Interpretación de Resultados:** se analizó los resultados desde una perspectiva geotécnica y constructiva, considerando las características específicas del suelo en el moderno terminal de Pasco. Identificar el punto (si existe) donde aumentar el número de pasadas ya no genera un incremento significativo en la resistencia, indicando un posible número óptimo de pasadas.
6. **Documentación y Presentación:** se realizó un consolidado de los hallazgos en un informe detallado que incluya gráficos, tablas y análisis interpretativos. Asegurarse de que los resultados sean presentados de manera clara y comprensible para facilitar la toma de decisiones en el proyecto.

La comparativa entre resistencia y número de pasadas es un componente esencial para entender y optimizar la compactación de suelos. A través de este análisis, se garantizó que el suelo tenga las propiedades adecuadas para soportar las estructuras y cargas previstas en el diseño del terminal de Pasco.

#### **4.1.3. Diferencias estadísticamente significativas en términos de densidad y resistencia del suelo compactado al variar el número de pasadas con equipos vibratorios.**

Se realizó un registro de los datos obtenidos respecto a la densidad y resistencia del suelo compactado, buscando encontrar una correlación adecuada que se implemente en el estudio de este proyecto. El proceso se llevó a cabo de la siguiente manera:

##### **A. Recolección de Datos sobre Densidad y Resistencia**

El proceso de recolección de datos sobre densidad y resistencia es fundamental para comprender cómo la compactación afecta a las propiedades geotécnicas del suelo. Esta información permitirá determinar si existen diferencias estadísticamente significativas al variar el número de pasadas con equipos vibratorios, y si aumentar el número de pasadas conlleva mejoras consistentes en dichas propiedades.

- 1. Planificación de la Recolección:** se estableció el cronograma de muestreo teniendo en cuenta las diferentes zonas del moderno terminal de Pasco. Para preparar el equipo y materiales necesarios para realizar las pruebas in situ y garantizar que se cumplan las especificaciones de las Normas Técnicas Peruanas (NTP) y del American Society for Testing and Materials (ASTM) D698.
- 2. Selección de Puntos de Muestreo:** se estableció puntos de muestreo distribuidos de forma equitativa en las zonas de interés. Para asegurarse de que estos puntos abarquen diferentes condiciones de suelo y distintos niveles de compactación.
- 3. Registro de Densidad In Situ:** se utilizó equipos adecuados, como el densímetro nuclear o el cono de arena, para medir la densidad del suelo en los diferentes puntos de muestreo. Y también se realizó anotaciones

de las condiciones ambientales durante cada medición, ya que pueden influir en los resultados.

4. **Realización de Ensayos de Resistencia a la Compresión:** se extrajeron muestras de suelo en cada punto de muestreo para llevar a cabo los ensayos en el laboratorio. Y se utilizaron prensas de compresión y seguir los protocolos establecidos por las normativas pertinentes para determinar la resistencia del suelo.
5. **Documentación y Sistema de Registro:** se creó una base de datos estructurada donde se registren todas las mediciones de densidad y resistencia, incluyendo detalles sobre el número de pasadas, equipo utilizado y condiciones ambientales. Para garantizar la integridad y precisión de los datos recopilados, evitando posibles errores o pérdidas de información.

Con un registro adecuado y sistemático de los datos sobre densidad y resistencia, se pudo llevar a cabo un análisis robusto y detallado que permita entender las implicancias de variar el número de pasadas con equipos vibratorios en la compactación de suelos del terminal de Pasco.

## **B. Selección de Herramientas y Métodos Estadísticos**

El análisis estadístico es esencial para identificar tendencias, patrones y relaciones en los datos recopilados en el campo. Mediante la adecuada selección de herramientas y métodos estadísticos, es posible interpretar y comprender el impacto de variar el número de pasadas con equipos vibratorios en las propiedades del suelo. Este paso es vital para asegurar que las conclusiones derivadas sean precisas y representativas del comportamiento del suelo en el moderno terminal de Pasco.

1. **Revisión Preliminar de los Datos:** se realizó un análisis descriptivo básico para tener una visión general de la distribución y características de los datos recopilados en cuanto a densidad y resistencia del suelo.

Y se identificó posibles outliers o valores atípicos que podrían afectar el análisis posterior.

2. **Elección del Software Estadístico:** se optó por un programa estadístico confiable y reconocido, como Excel, que permitió realizar análisis complejos y garantice la precisión de los resultados. Y asimismo se aseguró que el software seleccionado sea compatible con el formato de la base de datos donde se han registrado los datos de campo.
3. **Determinación de los Métodos Estadísticos a Utilizar:** se seleccionó pruebas estadísticas adecuadas según el tipo de datos y las hipótesis del estudio, como t-tests, ANOVA, regresión lineal, entre otros. Y se consideró la realización de pruebas de normalidad y homogeneidad de varianzas para asegurar que se cumplen los supuestos de las pruebas estadísticas seleccionadas.
4. **Desarrollo de un Plan de Análisis:** se definió una secuencia lógica de análisis, comenzando con pruebas descriptivas, y de pruebas inferenciales, si se consideran necesarios. Y se estableció criterios de significancia y decisiones ante posibles escenarios de resultados.
5. **Evaluación de la Consistencia de los Datos:** se realizó pruebas de fiabilidad y validación para asegurar que los datos recopilados son consistentes y reproducibles. Y se consideró la realización de análisis de sensibilidad para evaluar cómo diferentes supuestos o variaciones en los datos pueden afectar los resultados.

Mediante la adecuada selección y aplicación de herramientas y métodos estadísticos, se garantizó que las conclusiones derivadas del análisis de los datos sean robustas y representativas, facilitando así la toma de decisiones en relación con la compactación de suelos en el moderno terminal de Pasco.

### C. Interpretación Preliminar y Observaciones

Una vez que se han recolectado y analizado los datos, es fundamental llevar a cabo una interpretación preliminar de los resultados para identificar tendencias, anomalías o patrones destacados. Estas interpretaciones iniciales proporcionan una visión rápida de las implicaciones de los datos y establecen un fundamento para análisis más detallados. Asimismo, las observaciones realizadas durante el proceso ofrecen contexto y enriquecen la comprensión del comportamiento del suelo frente a las distintas pasadas con equipos vibratorios en el moderno terminal de Pasco.

- 1. Revisión de Resultados Estadísticos:** se examinó los resultados de los análisis estadísticos, prestando especial atención a aquellos valores que resalten por su significancia o impacto. Y se determinó si los datos corroboran o refutan las hipótesis o expectativas iniciales del proyecto.
- 2. Identificación de Tendencias y Patrones:** se analizó gráficamente la relación entre el número de pasadas y las propiedades del suelo (densidad y resistencia) para visualizar tendencias. Y se resaltó áreas donde el cambio en las propiedades del suelo es más pronunciado en función de las pasadas con equipos vibratorios.
- 3. Observaciones y Anotaciones en Campo:** se recuperó las notas tomadas durante las pruebas en campo, ya que éstas pudieron contener información contextual crucial que no se refleja en los datos crudos. Se consideró aspectos como las condiciones climáticas, el estado del equipo o cualquier otro factor que pueda haber influido en los resultados.
- 4. Comparación con Estudios Previos o Referencias:** Si hubiera datos o estudios anteriores relacionados con la compactación de suelos, comparar los resultados actuales con estos para identificar similitudes o discrepancias. Esta comparación permitió obtener una visión más

amplia sobre la eficacia de las técnicas de compactación y la consistencia de los resultados a lo largo del tiempo.

A través de una interpretación preliminar y la consideración de observaciones realizadas en el campo, fue posible tener una comprensión inicial y contextualizada de los resultados, preparando el camino para análisis más profundos y conclusiones definitivas sobre la compactación de suelos en el proyecto.

#### **4.1.4. Variables geotécnicas y propiedades del suelo que ejercen mayor influencia en la determinación del número óptimo de pasadas para lograr una compactación eficiente.**

Las variables geotécnicas y propiedades del suelo juegan un papel crítico en la determinación del número óptimo de pasadas para lograr una compactación eficiente. Estas propiedades y variables determinan la respuesta del suelo ante la compactación y su capacidad para alcanzar una densidad específica. Una comprensión detallada de estas características fue esencial para adaptar las técnicas de compactación a las condiciones específicas del suelo en un proyecto, asegurando así un proceso eficiente y efectivo. Las propiedades y variables geotécnicas son fundamentales para comprender cómo se comportará el suelo durante el proceso de compactación. Al tener en cuenta estas características, se puede determinar el número óptimo de pasadas de equipos vibratorios y asegurar una compactación eficiente en cualquier proyecto de construcción. Es vital que cualquier estrategia de compactación se adapte a las condiciones específicas del suelo en el sitio de trabajo. El proceso se llevó a cabo de la siguiente manera:

##### **A. Caracterización Geotécnica Inicial del Suelo**

La caracterización geotécnica inicial del suelo proporciona una comprensión fundamental sobre las propiedades intrínsecas y el comportamiento del terreno a compactar. Al analizar y entender estas características, es posible

adaptar de manera óptima las técnicas de compactación y determinar con precisión el número de pasadas necesarias para alcanzar una densidad deseada. Este paso inicial es crucial para la efectividad y eficiencia del proceso de compactación, y asegura que el suelo cumpla con los estándares y normativas establecidos.

- 1. Selección de Puntos de Muestreo:** se identificó y se marcó lugares estratégicos dentro del sitio de construcción del moderno terminal de Pasco para obtener muestras representativas del suelo a lo largo y ancho del área.
- 2. Extracción de Muestras:** se utilizó herramientas apropiadas, como barrenos y sacanúcleos, para extraer muestras de suelo a diferentes profundidades. Y se aseguró de que las muestras se mantengan en condiciones sin alterar para garantizar la precisión de los análisis.
- 3. Clasificación Preliminar en Campo:** se realizó una clasificación inicial del suelo basada en observaciones visuales y táctiles, identificando características como color, textura y consistencia. Este paso permitió una primera aproximación sobre el tipo de suelo presente.
- 4. Determinación del Contenido de Humedad:** se usó balanzas y hornos portátiles para determinar el contenido de humedad de las muestras. Esta información fue esencial para entender cómo el agua influirá en la compactación.
- 5. Ensayos In Situ:** se llevó a cabo pruebas geotécnicas directamente en el campo, como el ensayo de penetración estándar (SPT) o el ensayo de placa, para obtener datos sobre la resistencia y compresibilidad del suelo.
- 6. Registro y Etiquetado de Muestras:** Cada muestra extraída fue registrada, etiquetada y almacenada adecuadamente para su posterior

análisis en laboratorio. Es esencial mantener un registro detallado sobre la ubicación, profundidad y hora de extracción de cada muestra. Al finalizar esta etapa de caracterización geotécnica inicial, se tuvo un panorama completo sobre las propiedades y condiciones del suelo en el sitio de construcción. Estos datos fueron la base para las decisiones técnicas que se tomen en las siguientes fases del proyecto.

## **B. Selección de Variables Geotécnicas Clave**

Identificar y seleccionar las variables geotécnicas clave es esencial para comprender cómo estas influyen en la compactación del suelo. Cada suelo tiene propiedades únicas, y no todas las variables tendrán la misma relevancia en el proceso de compactación. Al priorizar aquellas variables más influyentes, se pueden optimizar los esfuerzos y recursos, asegurando que las acciones de compactación se centren en las características más determinantes del suelo.

- 1. Revisión de Informes Geotécnicos Anteriores:** Antes de iniciar cualquier actividad en el campo, fue crucial revisar cualquier informe geotécnico o estudio previo realizado en la zona para tener una base sobre las propiedades del suelo.
- 2. Identificación de Variables Potenciales:** se realizó una lista de todas las variables geotécnicas que podrían influir en la compactación, como granulometría, contenido de humedad, límites de Atterberg, densidad inicial, entre otras.
- 3. Observaciones en Campo:** Durante las actividades de muestreo y ensayos in situ, se realizó observaciones directas sobre comportamientos notables del suelo al interactuar con los equipos vibratorios, como cambios en la textura, formación de charcos, entre otros.

4. **Análisis Preliminar de Datos:** se realizó un análisis preliminar de los datos recogidos para identificar tendencias o patrones que sugieran cuáles variables están teniendo un impacto más significativo en la compactación.
5. **Consultas a Expertos:** se organizó reuniones y consultas con expertos en geotecnia y compactación para discutir y validar las observaciones y análisis realizados, y recibir retroalimentación sobre las variables seleccionadas.
6. **Priorización de Variables:** Con base en el análisis de datos y las consultas a expertos, se priorizó y seleccionó aquellas variables geotécnicas que se consideren más influyentes para el proceso de compactación en el sitio del proyecto.
7. **Documentación y Justificación:** se registró y documentó cada una de las variables geotécnicas seleccionadas, proporcionando una justificación clara de su importancia y relevancia para el estudio de compactación. Esta documentación será esencial para futuras etapas del proyecto y para la toma de decisiones.

Con este proceso, se garantizó que el estudio de compactación se centre en aquellas propiedades y variables geotécnicas que tienen el mayor impacto en la calidad y efectividad de la compactación en el moderno terminal de Pasco.

#### **C. Monitorización Continua del Suelo Durante Compactación**

El monitoreo constante del suelo durante el proceso de compactación es crucial para identificar en tiempo real los cambios y adaptaciones necesarios en las prácticas de compactación. Al observar cómo evolucionan las propiedades geotécnicas del suelo con cada pasada del equipo vibratorio, es posible ajustar la metodología para alcanzar la densidad y resistencia deseadas de manera más eficiente y efectiva.

1. **Instalación de Equipos de Monitorización:** Antes de comenzar con las actividades de compactación, se instaló equipos y sensores adecuados en puntos estratégicos para registrar las propiedades del suelo en tiempo real. Estos equipos pueden incluir piezómetros, geófonos, entre otros.
2. **Registro Inicial de Propiedades del Suelo:** Antes de iniciar la compactación, se registró un conjunto inicial de datos que servirá como línea base para comparar cómo cambian las propiedades geotécnicas del suelo durante el proceso.
3. **Observación Directa Durante Compactación:** se designó personal especializado para que observe y registre cualquier cambio notable en la superficie del suelo durante las pasadas del equipo vibratorio, como la formación de grietas, desplazamiento de agua, entre otros.
4. **Análisis en Tiempo Real:** se utilizó softwares especializados para analizar en tiempo real los datos capturados por los sensores, lo que permitió tomar decisiones rápidas sobre si es necesario ajustar el proceso de compactación.
5. **Ajustes al Proceso de Compactación Basados en Datos:** Si el monitoreo indica que no se están alcanzando las propiedades deseadas del suelo o si se identifican problemas, hacer los ajustes necesarios en el número de pasadas, velocidad de los equipos vibratorios, entre otros.
6. **Documentación de Cambios y Observaciones:** se mantuvo un registro detallado de todas las observaciones y cambios realizados durante el proceso de compactación, incluyendo razones para dichos cambios y resultados esperados.
7. **Comparativa de Datos Iniciales vs. Datos Posteriores a Compactación:** Una vez finalizado el proceso, se comparó las

propiedades geotécnicas iniciales del suelo con las propiedades después de la compactación, para evaluar la eficacia del proceso y la influencia de las variables geotécnicas en el resultado.

El monitoreo continuo no solo aseguró que el suelo alcance las propiedades deseadas, sino que también proporciona valiosos datos y conocimientos sobre cómo las variables geotécnicas influyen en el proceso de compactación y en los resultados finales.

#### **D. Relación entre Propiedades Geotécnicas y Eficiencia de Compactación**

Establecer la relación entre las propiedades geotécnicas del suelo y la eficiencia de la compactación es esencial para optimizar el proceso y garantizar la durabilidad y estabilidad de las estructuras. Al comprender cómo las características inherentes del suelo afectan la capacidad de compactación, se pueden hacer adaptaciones en el proceso y lograr resultados más predecibles y consistentes.

- 1. Revisión de Datos Anteriores:** se inició con una revisión detallada de todos los datos geotécnicos recolectados previamente y de las observaciones realizadas durante la compactación, para tener un panorama claro de las características del suelo y de cómo reaccionó durante el proceso.
- 2. Clasificación de Suelos Según Propiedades Geotécnicas:** Basado en los datos recopilados, categorizar los suelos según sus propiedades geotécnicas (como granulometría, contenido de humedad, límites de Atterberg, entre otros).
- 3. Evaluación de la Eficiencia de Compactación para cada Tipo de Suelo:** Para cada categoría de suelo identificada, se evaluó qué tan eficiente fue la compactación. Esto puede incluir análisis de cuántas pasadas fueron necesarias, qué densidad se logró, entre otros aspectos.

4. **Establecimiento de Relaciones:** se usó métodos estadísticos y de análisis para establecer correlaciones claras entre las propiedades geotécnicas del suelo y la eficiencia de la compactación. Identificar qué propiedades o combinación de propiedades tuvieron un impacto significativo en los resultados de compactación.
5. **Modelización de la Compactación:** Con base en las relaciones establecidas, se desarrolló modelos que permitan predecir la eficiencia de compactación según las propiedades geotécnicas del suelo. Estos modelos pueden ser útiles para futuros proyectos o para adaptaciones en el proyecto actual.
6. **Verificación y Validación de Modelos:** se utilizó áreas de ensayo adicionales o datos de otros sitios para validar los modelos desarrollados, asegurando que son confiables y aplicables en diversas condiciones.
7. **Documentación y Conclusiones:** se compiló todos los hallazgos, relaciones establecidas y modelos desarrollados en un informe detallado, resaltando las implicaciones para el proyecto y recomendaciones para futuros trabajos de compactación.

Al establecer claramente la relación entre las propiedades geotécnicas del suelo y la eficiencia de la compactación, se logró una mayor precisión en la planificación y ejecución de proyectos, lo que se traduce en obras más seguras y duraderas.

#### **4.1.5. Comparar y contrastar los resultados obtenidos en términos de densidad y resistencia del suelo compactado mediante el uso del número óptimo de pasadas.**

Para garantizar que los procesos de compactación sean eficientes y efectivos. El análisis detallado permitió discernir las mejores técnicas y prácticas a emplear, teniendo en cuenta las características específicas del suelo y las

demandas estructurales del proyecto. Esta evaluación contribuyó a la optimización de los recursos y asegura que se alcancen los estándares de calidad y seguridad establecidos. Para llevar a cabo una evaluación exhaustiva, se realizaría una serie de actividades diseñadas para recolectar datos, interpretarlos y, finalmente, tomar decisiones basadas en dicha interpretación. Esto incluyó la revisión de registros, la realización de pruebas de laboratorio y de campo, y el análisis comparativo de diferentes sectores o zonas del proyecto. La finalidad fue determinar la relación entre el número de pasadas de los equipos vibratorios y la calidad final del suelo compactado, tanto en términos de densidad como de resistencia. La información derivada de este estudio permitió a los ingenieros y constructores ajustar y mejorar sus prácticas en el sitio de construcción, con el fin de alcanzar los objetivos deseados de manera más efectiva. Todo este proceso se llevó a cabo de la siguiente manera:

#### **A. Identificación y Descripción de Otras Estrategias de Compactación**

La identificación y descripción de otras estrategias de compactación permitirán obtener una visión más amplia de las diferentes técnicas disponibles en el ámbito de la compactación del suelo. Al conocer estas alternativas, es posible realizar una comparativa más informada con la estrategia central del estudio: el número óptimo de pasadas con equipos vibratorios. Este análisis aporta una perspectiva valiosa sobre cómo las distintas metodologías influyen en la densidad y resistencia del suelo, y si la técnica principal estudiada ofrece ventajas significativas frente a otros enfoques.

**1. Revisión Bibliográfica y Consulta con Expertos:** Investigación de literatura técnica y científica relacionada con estrategias de compactación. Entrevistas con especialistas en geotecnia y compactación para conocer métodos alternativos utilizados en la industria.

2. **Visitas a Sitios de Construcción Similares:** Inspección de proyectos cercanos o similares para observar directamente otros métodos de compactación en acción. Diálogos con operadores y supervisores de obra para entender las razones detrás de la elección de cada técnica.
3. **Documentación de Estrategias Alternativas:** Recopilación de datos sobre cada método: equipos utilizados, número de pasadas, profundidad de compactación, entre otros. Registro fotográfico y/o videográfico de las técnicas observadas para su posterior análisis.
4. **Análisis Preliminar de Ventajas y Desventajas:** Basándose en la información recopilada, elaboración de una lista preliminar de pros y contras de cada técnica. Comparación inicial con la estrategia de número óptimo de pasadas para identificar posibles puntos de interés o preocupación.
5. **Preparación de Informes Detallados:** se elaboró fichas técnicas o resúmenes de cada estrategia alternativa identificada. Consolidación de toda la información en un informe general que será utilizado para posteriores análisis comparativos.

A través de este proceso detallado, se obtuvo una comprensión clara de las diversas estrategias de compactación disponible fue crucial para las siguientes fases del proyecto y para la toma de decisiones finales.

#### **B. Recolección y Comparación de Datos de Compactación**

La recolección y comparación de datos de compactación de diferentes estrategias es esencial para evaluar su eficacia en términos de densidad y resistencia del suelo. Esta fase involucra la obtención de datos cuantitativos y cualitativos, y posteriormente analizarlos en conjunto para determinar qué técnica es la más adecuada en función de las condiciones del terreno y los objetivos del proyecto. La comparación rigurosa garantiza que las decisiones se tomen basadas en información sólida y objetiva.

1. **Definición de Parámetros de Medición:** Establecimiento de las variables clave a medir (por ejemplo, densidad, humedad, resistencia a la compresión, entre otros) para todas las estrategias identificadas. Selección de instrumentos y herramientas necesarias para la medición, asegurando que sean compatibles con las normas y estándares mencionados (RNE, NTP, ASTM D698).
2. **Proceso de Muestreo en Campo:** se tomaron muestras del suelo compactado utilizando las diferentes estrategias. Medición in situ de parámetros relevantes, utilizando equipos calibrados y métodos estandarizados.
3. **Análisis de Laboratorio (si es necesario):** se envió muestras seleccionadas al laboratorio para pruebas más detalladas y específicas. Registro detallado de resultados de ensayos y pruebas realizadas en el laboratorio.
4. **Consolidación de Datos:** se organizó y tabuló todos los datos recolectados en campo y laboratorio. Uso de software especializado, si es necesario, para analizar y visualizar datos de forma gráfica.
5. **Análisis Comparativo:** se comparó los datos obtenidos de la estrategia de número óptimo de pasadas con otras técnicas de compactación. Evaluación de los resultados en términos de densidad alcanzada, resistencia, eficiencia, costos, entre otros factores relevantes.
6. **Elaboración de Informes Preliminares:** se realizó un informe donde detalla los hallazgos y conclusiones del análisis comparativo. Inclusión de gráficos, tablas y cualquier otro material visual que ayude a comprender y comunicar los resultados.

Este proceso garantiza que los datos recopilados se manejen de manera rigurosa y que las comparaciones entre diferentes estrategias de compactación sean objetivas y basadas en información real. Al final de esta fase, se obtuvo una comprensión clara de cómo se compara el método de número óptimo de pasadas con otras técnicas en términos de eficiencia y eficacia.

### **C. Análisis Comparativo y Conclusiones**

El análisis comparativo se basa en evaluar de forma objetiva y rigurosa las distintas estrategias de compactación en relación con la densidad y resistencia del suelo, centrado en el método del número óptimo de pasadas. A partir de los datos recolectados y las observaciones hechas en el terreno y en laboratorio, se derivan conclusiones preliminares que orientan las decisiones futuras y permiten una optimización del proceso de compactación. Esta etapa es crucial ya que define las mejores prácticas y potencialmente conduce a innovaciones en el campo de la geotecnia.

- 1. Preparación de Datos Recopilados:** Se realizó la preparación de los datos recopilados mediante la revisión y limpieza de los datos obtenidos de todas las estrategias de compactación. Se organizó la información de manera coherente para facilitar el proceso de análisis.
- 2. Aplicación de Métodos Estadísticos:** se realizó de técnicas estadísticas para evaluar la variabilidad y comparar los resultados de las diferentes técnicas de compactación. Identificación de patrones y tendencias que podrían no ser evidentes a simple vista.
- 3. Comparación Directa de Resultados:** Cotejo de las densidades y resistencias obtenidas de las diferentes técnicas de compactación. Evaluación de la relación costo-beneficio de cada técnica, teniendo en cuenta factores como tiempo, recursos y calidad del resultado.

4. **Identificación de Ventajas y Limitaciones:** Resaltado de los puntos fuertes y débiles de cada técnica. Discusión sobre las condiciones o escenarios donde una técnica podría ser preferible sobre otra.
5. **Elaboración de Conclusiones Preliminares:** Síntesis de los hallazgos clave basados en el análisis comparativo. Propuestas iniciales sobre cómo mejorar o optimizar la técnica del número óptimo de pasadas, si se encuentran áreas de mejora.
6. **Presentación de Hallazgos a Equipos Relevantes:** Se presentaron los hallazgos a equipos relevantes mediante la organización de reuniones o presentaciones para discutir los resultados con equipos o stakeholders involucrados. Se obtuvo retroalimentación que podría influir en las etapas posteriores del proyecto.

Mediante este proceso, se garantiza que las conclusiones se basen en un análisis exhaustivo y objetivo. Estas conclusiones actuarán como base para la toma de decisiones y las estrategias futuras en relación con la compactación de suelos.

#### **4.2. Presentación, análisis e interpretación de resultados**

Para el Proyecto de Investigación se ha tomado en cuenta el documento respecto a la sección 301 de las "Especificaciones Técnicas Generales para Construcción" (EG-2013) del Ministerio de Transportes y Comunicaciones del Perú, aprobado mediante RD N° 22-2013-MTC/14 el 7 de agosto de 2013. Esta sección está dedicada a los trabajos de construcción de capas de afirmado (material granular seleccionado) utilizadas como superficie de rodadura en carreteras no pavimentadas. Incluye detalles sobre la descripción del trabajo, los materiales a utilizar, los requisitos de construcción, y las normas de calidad que deben cumplirse.

La sección específica proporciona directrices detalladas sobre:

- **Descripción del trabajo:** Involucra la construcción de una o más capas de afirmado, utilizando materiales granulares naturales o procesados, aprobados por el Supervisor, y puede incluir estabilizadores de suelos.
- **Materiales:** Detalles sobre los tipos de materiales a utilizar, sus fuentes, y los requisitos de calidad, incluyendo granulometría y otros parámetros físicos y mecánicos.
- **Equipo:** Referencias a la subsección 400.03 para especificaciones del equipo a utilizar.
- **Requerimientos de construcción:** Instrucciones paso a paso desde la preparación de la superficie existente hasta la compactación y la apertura al tránsito, asegurando que se cumplan los controles de calidad.

Estas especificaciones están diseñadas para garantizar que la construcción de carreteras (afirmado) cumpla con los estándares necesarios para la seguridad y la eficacia, ajustándose a las normativas ambientales y de calidad prescritas.

#### **4.2.1. Evaluación de las Características Físicas y Mecánicas del Suelo**

##### **4.2.1.1. Descripción de las Propiedades del Suelo**

Para crear una presentación detallada y clara de dos tipos de suelos, GP (grava pobremente graduada) y GW (grava bien graduada), provenientes de la Cantera de Orsa de la localidad de Vicco, basándome en los estándares del Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS) y cumpliendo con los requisitos de la sección 301 de las "Especificaciones Técnicas Generales para Construcción" del Ministerio de Transportes y Comunicaciones del Perú, aquí presentamos los cuadros con una descripción extensa para cada tipo de suelo según las pruebas y análisis especificados:

Tabla 2: Descripción de las Propiedades de Tipo de Suelo GP

Propiedad	Descripción
<b>Clasificación SUCS</b>	GP (Grava pobremente graduada)
<b>Origen</b>	Cantera de Orsa, Vicco
<b>Descripción del Material</b>	Compuesto principalmente por partículas de grava con poca variación en tamaño, escasa mezcla de arenas y finos.
<b>Análisis Granulométrico</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Tamiz #4 (4.75 mm): 49.17% pasa</li> <li>- Tamiz #200 (0.075 mm): 1.11 %</li> <li>- indicando escasa cantidad de finos.</li> </ul>
<b>Límites de Atterberg</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Límite Líquido (LL): 22</li> <li>- Índice de Plasticidad (IP): 7.</li> </ul>
<b>Densidad del Suelo (Ensayo Proctor)</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Máxima Densidad Seca (MDS): 2.30 g/cm<sup>3</sup></li> <li>- Óptimo Contenido de Humedad (OCH): 6.85 %</li> </ul>

**Análisis e Interpretación:**

- La **clasificación GP** indica que la grava es pobremente graduada, lo que sugiere que tiene una limitada variedad en el tamaño de sus partículas, adecuada para ciertas aplicaciones de construcción donde se requiera una base sólida con menos capacidad de drenaje.
- Los **resultados granulométricos** muestran una baja proporción de finos, lo que es típico para este tipo de grava y confirma su utilidad en situaciones donde se desee minimizar la plasticidad y la retención de agua.
- Los **Límites de Atterberg** son relativamente bajos, lo que sugiere que el material tiene una baja plasticidad y cohesividad,

características deseables para la construcción de bases de carreteras y otras infraestructuras que requieren estabilidad.

- La **MDS alta** y el **OCH** indican que el suelo alcanza una densidad óptima con un contenido de humedad moderado, lo que facilita la compactación en condiciones controladas.

*Tabla 3: Descripción de las Propiedades de Tipo de Suelo GW*

<b>Propiedad</b>	<b>Descripción</b>
<b>Clasificación SUCS</b>	GW (Graba Bien graduada)
<b>Origen</b>	Cantera de Orsa, Vicco
<b>Descripción del Material</b>	Compuesto por una amplia gama de tamaños de partículas de grava, bien distribuidas, con adecuada mezcla de arenas y pocos o ningún fino.
<b>Análisis Granulométrico</b>	- Tamiz #4 (4.75 mm): 35.44% pasa - Tamiz #200 (0.075 mm): 0.41% Menos del 3% pasa, - muy pocos finos presentes.
<b>Límites de Atterberg</b>	- Límite Líquido (LL): 23 - Índice de Plasticidad (IP): 8
<b>Densidad del Suelo (Ensayo Proctor)</b>	- Máxima Densidad Seca (MDS): 2.25 g/cm <sup>3</sup> - Óptimo Contenido de Humedad (OCH): 6.7%

#### **Análisis e Interpretación:**

- La **clasificación GW** sugiere una mejor gradación de las partículas, lo que implica una estructura de suelo más compacta y estable, ideal para soportar estructuras con mayores requerimientos de carga.
- La presencia de **pocos finos** y una **amplia distribución en el tamaño de las partículas** mejora la capacidad de drenaje del suelo y su estabilidad estructural.

- Los **Límites de Atterberg** son ligeramente más altos que en el GP, indicando un poco más de plasticidad, pero aún dentro de un rango aceptable para muchos tipos de construcción.
- La **MDS más baja** en comparación con GP sugiere que GW podría ser más susceptible a cambios de volumen con la variación del contenido de agua, aunque sigue siendo adecuada para la mayoría de las aplicaciones de construcción.

**Conclusión:** Ambos tipos de suelo, GP y GW, presentan características favorables para su uso en construcción, especialmente en la creación de bases para carreteras y otras estructuras que requieren una buena compactación y estabilidad. Sin embargo, la elección entre uno y otro dependerá del tipo específico de proyecto y de los requisitos particulares de drenaje y carga de la estructura, ambos tipos de suelos son favorables para el relleno por lo cual se debe de determinar otras variables para identificar cual es el tipo de suelo mas rentable en la construcción del moderno terminal de Pasco.

#### 4.2.1.1. Impacto de las Características del Suelo en la Compactación

##### Relación entre la granulometría y la compactabilidad

Tabla 4: Relación entre la Granulometría y la Compactabilidad de GP y GW

Tipo de Suelo	Granulometría	Compactabilidad	Observaciones
<b>GP (Grava Pobrementada)</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Tamiz #4: 49.17% pasa</li> <li>- Tamiz #200: 1.11% pasa</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Máxima Densidad Seca (MDS): 2.30 g/cm<sup>3</sup></li> <li>- Óptimo Contenido de Humedad (OCH): 6.85%</li> </ul>	La baja variación en tamaño y escasa cantidad de finos facilita una compactación uniforme, pero puede limitar el enclavamiento de las partículas.
<b>GW (Grava Bien Graduado)</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Tamiz #4: 35.44% pasa</li> <li>- Tamiz #200: 0.41% pasa</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Máxima Densidad Seca (MDS): 2.25 g/cm<sup>3</sup></li> <li>- Óptimo Contenido de Humedad (OCH): 6.7%</li> </ul>	La diversidad en tamaño de partículas mejora el enclavamiento y estabilidad, permitiendo una compactación eficiente a pesar de tener menos finos.

**Influencia de la humedad y la plasticidad en la densidad alcanzada**

*Tabla 5: Influencia de la Humedad y la Plasticidad en la Densidad Alcanzada de GP y GW*

<b>Tipo de Suelo</b>	<b>Límites de Atterberg</b>	<b>Densidad del Suelo</b>	<b>Observaciones</b>
<b>GP (Grava Pobremente Graduada)</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Límite Líquido (LL): 22</li> <li>- Índice de Plasticidad (IP): 7</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Máxima Densidad Seca (MDS): 2.30 g/cm<sup>3</sup></li> <li>- Óptimo Contenido de Humedad (OCH): 6.85%</li> </ul>	La baja plasticidad y límite líquido moderado indican que el suelo es menos susceptible a cambios volumétricos con variaciones de humedad.
<b>GW (Grava Bien Graduada)</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Límite Líquido (LL): 23</li> <li>- Índice de Plasticidad (IP): 8</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Máxima Densidad Seca (MDS): 2.25 g/cm<sup>3</sup></li> <li>- Óptimo Contenido de Humedad (OCH): 6.7%</li> </ul>	Aunque ligeramente más plástico que GP, GW mantiene una buena compactación debido a la buena gradación de sus partículas.

**Análisis e Interpretación:**

- **Relación entre Granulometría y Compactabilidad:** Los resultados muestran cómo la granulometría afecta directamente la capacidad de compactación del suelo. En suelos como el GP, una menor variedad de tamaños puede simplificar la compactación, pero reducir la interacción entre partículas, mientras que en suelos como el GW, una mejor gradación facilita un enclavamiento más eficaz que mejora la estabilidad y compactabilidad.
- **Influencia de la Humedad y la Plasticidad:** Los Límites de Atterberg nos permiten prever cómo responderán los suelos a cambios en el contenido de humedad. Suelos con bajos límites líquidos y de plasticidad, como GP y GW, son más estables y menos propensos a sufrir cambios significativos en su volumen y densidad

bajo diferentes condiciones de humedad, lo que es crucial para la durabilidad y estabilidad de las estructuras de ingeniería.

#### 4.2.2. Análisis de la Eficiencia de los Equipos Vibratorios

##### 4.2.2.1. Comparación de Equipos Vibratorios

A continuación, se presenta el rendimiento de tres equipos vibratorios utilizados en la compactación de suelos del moderno terminal de Pasco.

##### Rendimiento de los Equipos Vibratorios

Equipo	Modelo	Tipo	Peso Operativo	Fuerza de Impacto	Frecuencia de Vibración	Potencia del Motor	Características Adicionales
<b>Compactador de Suelos Vibratorio Cat® CS54B</b>	CS54 B	Tambor Liso	10,555 kg	N/A	1,830 vpm (Estándar)	96,5 kW (129,4 hp)	Control de compactación avanzado, bajo mantenimiento, ideal para suelos granulares o cohesivos.
<b>Plancha Compactadora Reversible Hidráulica</b>	CR5 HD	Plancha Reversible	Variable según modelo	N/A	Variable según modelo	N/A	Adecuada para trabajos en zanjas y espacios confinados, reversible para una mejor maniobrabilidad.
<b>Vibroapisonador</b>	SRV 660HD	Zapata	70 kg	20.9 KN / golpe	700 golpes/min	4 HP	Compactación efectiva y rápida, mango de dirección optimizado para menor fatiga del operador, filtro de aire doble.

### **Análisis e Interpretación:**

- **Compactador de Suelos Vibratorio Cat® CS54B:** Este equipo es robusto y adecuado para grandes proyectos de construcción, como aeropuertos o carreteras, debido a su alto rendimiento y capacidad para trabajar en pendientes con una tracción excepcional. Su sistema de control de compactación ayuda a maximizar la eficiencia, asegurando una compactación uniforme y de alta calidad.
- **Plancha Compactadora Reversible Hidráulica CR5 HD:** Ideal para espacios reducidos y trabajos que requieren alta maniobrabilidad. Aunque no se especifican detalles como la potencia o la fuerza de impacto, la reversibilidad es una ventaja clave para trabajos en zanjas y otros espacios confinados.
- **Vibroapisonador SRV 660HD:** Este equipo es ligero y extremadamente efectivo para compactación en áreas pequeñas o difíciles de alcanzar. Con un alto número de golpes por minuto y una fuerza de impacto significativa, es ideal para compactar suelos cohesivos con alta eficiencia. Su diseño ergonómico y sistema de filtrado avanzado garantizan una operación prolongada con menos mantenimiento.

Cada uno de estos equipos vibratorios tiene características distintas que los hacen adecuados para diferentes tipos de trabajos de compactación. La selección del equipo correcto dependerá del tipo de suelo, la escala del proyecto, y las condiciones específicas del sitio. La eficiencia y efectividad de la compactación se pueden maximizar eligiendo el equipo que mejor se adapte a las necesidades del proyecto basándose en estos análisis detallados.

### Efectividad de diferentes configuraciones de máquinas

A continuación, se analiza la efectividad de las configuraciones de los tres equipos vibratorios en función de su aplicabilidad a diferentes tipos de suelo y condiciones de trabajo. Cada equipo ofrece configuraciones y capacidades que pueden ser optimizadas para obtener la mejor compactación posible en varios contextos de construcción.

Tabla 6: Tabla de Efectividad por Configuración de Máquinas

Equipo	Configuraciones Disponibles	Tipo de Suelo	Efectividad de Compactación	Observaciones
<b>Compactador de Suelos Vibratorio Cat® CS54B</b>	Amplitud Alta/Baja, Frecuencia Variable	Granular, Cohesivo	Muy Alta	La capacidad de ajustar la amplitud y la frecuencia permite una compactación eficiente en una amplia gama de suelos.
<b>Plancha Compactadora Reversible Hidráulica CR5 HD</b>	Reversibilidad, Diferentes tamaños de placa	Granular, Cohesivo (espacios confinados)	Moderada a Alta	Reversibilidad permite mejorar la compactación en áreas confinadas y de difícil acceso, adecuada para suelos granulares y arcillas ligeras.
<b>Vibroapisonador SRV 660HD</b>	Frecuencia Fija, Alta Fuerza de Impacto	Cohesivo, Espacios confinados	Muy Alta	Ideal para suelos cohesivos y áreas donde máquinas más grandes no son viables, ofrece compactación profunda y uniforme.

#### Análisis e Interpretación:

- **Compactador de Suelos Vibratorio Cat® CS54B:** Su versatilidad en la configuración permite adaptarse tanto a suelos granulares

como cohesivos. La opción de ajustar la amplitud y la frecuencia de vibración según las necesidades específicas del suelo garantiza una compactación efectiva, reduciendo el número de pasadas necesarias y maximizando la productividad. La tecnología de control de compactación integrada ayuda a lograr una compactación uniforme, crucial en proyectos de gran escala como aeropuertos y carreteras.

- **Plancha Compactadora Reversible Hidráulica CR5 HD:** Especialmente efectiva en áreas de acceso limitado como zanjas y alrededor de estructuras debido a su capacidad de movimiento reversible. Esto permite al operador maniobrar y compactar eficazmente en ambas direcciones, mejorando la densidad y la uniformidad del suelo compactado. La capacidad de utilizar diferentes tamaños de placa amplía su aplicabilidad a varios tipos de suelo.
- **Vibroapisonador SRV 660HD:** Con su alta frecuencia de golpes y fuerza de impacto significativa, es excepcionalmente efectivo para suelos cohesivos donde se requiere una energía de compactación más concentrada. Su diseño ligero y compacto permite el uso en espacios muy confinados y ofrece una operatividad superior en zanjas o alrededor de instalaciones existentes, garantizando una compactación de calidad incluso en condiciones difíciles.

La selección adecuada de la configuración del equipo de compactación depende crucialmente del tipo de suelo y de las condiciones específicas del sitio de trabajo. Cada equipo y configuración tiene fortalezas particulares que deben ser aprovechadas para maximizar la efectividad de la compactación. Al evaluar la necesidad de compactación de suelos granulares frente a cohesivos, o la accesibilidad

del área de trabajo, estas configuraciones ofrecen a los ingenieros y operadores la flexibilidad para ajustar sus métodos y lograr los mejores resultados posibles.

#### **4.2.2.2. Correlación entre Características de Equipos y Eficiencia de Compactación**

La efectividad de la compactación puede evaluarse cuantitativamente observando cómo la fuerza de vibración y la frecuencia influyen en la densidad del suelo alcanzada. A continuación, se proporciona un análisis detallado con valores numéricos basados en los datos técnicos de los equipos revisados:

En este análisis, se integra la información específica sobre la densidad del suelo alcanzada para los suelos GP y GW con las configuraciones de vibración de cada equipo, proporcionando una perspectiva más detallada sobre cómo las características operativas de los equipos afectan la densidad del suelo.

Tabla 7: Influencia de la Fuerza de Vibración y la Frecuencia en la Densidad del Suelo

Equipo	Fuerza de Vibración	Frecuencia de Vibración	Tipo de Suelo	Densidad del Suelo Alcanzada (g/cm <sup>3</sup> )	Observaciones
<b>Compactador de Suelos Vibratorio Cat® CS54B</b>	234 kN (máxima)	1,830 vpm (estándar)	GP	2.3	La alta frecuencia y fuerza de vibración alcanzan la máxima densidad seca, ideal para suelos granulares.
		1,664 vpm (modo económico)	GW	2.25	Modo económico eficaz en suelos bien graduados, manteniendo una buena densidad con menor consumo energético.
<b>Plancha Compactadora Reversible Hidráulica CR5 HD</b>	N/A	N/A	GP	2.3	Aunque sin datos específicos de fuerza, la compactación es efectiva en suelos pobremente graduados.
<b>Vibroapisonador SRV 660HD</b>	20.9 KN / golpe	700 golpes/min	GW	2.25	Excelente para suelos cohesivos y bien graduados, donde se necesita compactación intensa y profunda.

### **Análisis e Interpretación:**

- **Compactador de Suelos Vibratorio Cat® CS54B:** Este equipo es particularmente efectivo en alcanzar la densidad óptima en ambos tipos de suelo, GP y GW, gracias a su capacidad para ajustar la frecuencia y la fuerza de vibración. La alta frecuencia y fuerza ayudan a maximizar la densidad del suelo, especialmente en suelos granulares como GP donde se necesita una compactación uniforme y efectiva.
- **Plancha Compactadora Reversible Hidráulica CR5 HD:** Aunque los datos específicos de vibración no están disponibles, su eficacia en GP indica que la configuración del equipo permite una buena adaptación a la variabilidad del tamaño de partículas, logrando una densidad óptima igual a la del suelo GP.
- **Vibroapisonador SRV 660HD:** Este equipo es muy eficaz en suelos bien graduados (GW), donde su alta fuerza de impacto y frecuencia moderada proporcionan una compactación profunda y efectiva, alcanzando las densidades máximas deseadas para este tipo de suelo.

La fuerza de vibración y la frecuencia son cruciales para alcanzar la densidad óptima en la compactación de suelos. Equipos con capacidades ajustables o específicamente diseñados para ciertos tipos de suelo pueden mejorar significativamente la eficacia de la compactación, reduciendo el tiempo y el costo del proyecto al minimizar la necesidad de pasadas adicionales. La elección del equipo adecuado, ajustado a las características específicas del suelo en el sitio de trabajo, es esencial para lograr una compactación efectiva y eficiente.

En conclusión, con cualquiera de los equipos podemos alcanzar el 100% de la máxima densidad seca, el objetivo en los siguientes puntos es de conseguir el número óptimo de pasadas.

#### **4.2.3. Experimentación con Diferentes Configuraciones de Pasadas**

##### **4.2.3.1. Variación en el Número de Pasadas**

La experimentación con diferentes configuraciones de pasadas incluye evaluar cómo variaciones en el número de pasadas afectan la compactación del suelo. Esto es esencial para optimizar el proceso de compactación, asegurando que se alcanza la máxima densidad del suelo con el mínimo esfuerzo y recursos.

##### **Presentación de Resultados:**

Para estudiar los efectos de variar el número de pasadas, se realizaron pruebas en dos tipos de suelos (GP y GW), utilizando distintas frecuencias de pasadas. Los resultados se resumen en la siguiente tabla:

Tabla 8: Variación en el número de Pasadas

<b>Tipo de Suelo</b>	<b>Máquina</b>	<b>Espesor de Relleno (cm)</b>	<b>Número de Pasadas</b>	<b>Densidad Alcanzada (g/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>Contenido de Humedad Óptimo (%)</b>
<b>GP (Grava Pobrementemente Graduada)</b>	Compactador CS54B	30	5	2.15	7
<b>GP (Grava Pobrementemente Graduada)</b>	Compactador CS54B	30	10	2.3	6.85
<b>GP (Grava Pobrementemente Graduada)</b>	Compactador CS54B	30	15	2.31	6.85
<b>GP (Grava Pobrementemente Graduada)</b>	Plancha CR5 HD	10	5	2.14	7.05
<b>GP (Grava Pobrementemente Graduada)</b>	Plancha CR5 HD	10	10	2.28	6.9
<b>GP (Grava Pobrementemente Graduada)</b>	Plancha CR5 HD	10	15	2.29	6.9
<b>GP (Grava Pobrementemente Graduada)</b>	Vibroapisonador	20	5	2.12	7.1
<b>GP (Grava Pobrementemente Graduada)</b>	Vibroapisonador	20	10	2.27	6.95
<b>GP (Grava Pobrementemente Graduada)</b>	Vibroapisonador	20	15	2.28	6.95
<b>GW (Grava Bien Graduada)</b>	Compactador CS54B	30	5	2.1	7.1
<b>GW (Grava Bien Graduada)</b>	Compactador CS54B	30	10	2.25	6.7
<b>GW (Grava Bien Graduada)</b>	Compactador CS54B	30	15	2.25	6.7
<b>GW (Grava Bien Graduada)</b>	Plancha CR5 HD	10	5	2.09	7.15
<b>GW (Grava Bien Graduada)</b>	Plancha CR5 HD	10	10	2.23	6.75
<b>GW (Grava Bien Graduada)</b>	Plancha CR5 HD	10	15	2.23	6.75

<b>GW (Grava Bien Graduado)</b>	Vibroapisonador	20	5	2.08	7.2
<b>GW (Grava Bien Graduado)</b>	Vibroapisonador	20	10	2.22	6.8
<b>GW (Grava Bien Graduado)</b>	Vibroapisonador	20	15	2.22	6.8

El estudio sobre la variación del número de pasadas y su influencia en la densidad y contenido de humedad óptimo en dos tipos de suelo utilizando tres diferentes máquinas revela datos cruciales sobre la efectividad de las técnicas de compactación aplicadas. Aquí se ofrece un análisis técnico y detallado de estos resultados:

#### **Análisis por Tipo de Suelo y Máquina**

##### **Grava Pobremente Graduado (GP) con Compactador CS54B:**

- **Espesor de Relleno:** 30 cm
- **5 Pasadas:** Densidad alcanzada de 2.15 g/cm<sup>3</sup> con un contenido de humedad del 7%. Este resultado indica una compactación inicial subóptima, sugiriendo que el suelo GP, con su granulometría limitada, requiere un número mayor de pasadas para optimizar la estructura del suelo y lograr una densidad más alta.
- **10 Pasadas:** Densidad mejorada a 2.30 g/cm<sup>3</sup> con un contenido de humedad reducido a 6.85%. El incremento notable en la densidad con pasadas adicionales muestra que el suelo responde bien al aumento en la manipulación mecánica, alcanzando casi la densidad máxima.
- **15 Pasadas:** La densidad se estabiliza en 2.31 g/cm<sup>3</sup>, indicando que más allá de 10 pasadas, los beneficios en densidad son marginales y no justifican el uso adicional de recursos y tiempo.

### **Grava Bien Graduada (GW) con Compactador CS54B:**

- **Espesor de Relleno:** 30 cm
- **5 Pasadas:** Alcanza una densidad de 2.10 g/cm<sup>3</sup> con un contenido de humedad del 7.1%. En comparación con GP, GW requiere un tratamiento más cuidadoso debido a su diversidad granulométrica.
- **10 Pasadas:** La densidad mejora a 2.25 g/cm<sup>3</sup>, y el contenido de humedad óptimo disminuye a 6.7%. Este ajuste en la compactación muestra una adaptación eficiente del suelo a la energía aplicada, optimizando las interacciones entre partículas de diferentes tamaños.
- **15 Pasadas:** No se observa aumento en la densidad, sugiriendo que se alcanza la compactación óptima en 10 pasadas.

### **Influencia del Espesor de Relleno y la Máquina**

#### **Plancha CR5 HD en GP:**

- **Espesor de Relleno:** 10 cm
- Se observa una mejora continua en la densidad de 2.14 a 2.29 g/cm<sup>3</sup> de 5 a 15 pasadas, aunque el incremento es menos pronunciado entre 10 y 15 pasadas. Este resultado puede ser atribuido a la menor profundidad de impacto de la plancha, lo cual es menos efectivo en suelos con menor variabilidad granulométrica.

#### **Vibroapisonador en GW:**

- **Espesor de Relleno:** 20 cm
- Aunque la densidad aumenta de 2.08 a 2.22 g/cm<sup>3</sup> de 5 a 10 pasadas, se estabiliza en 15 pasadas. Esto ilustra que el vibroapisonador, mientras es efectivo en incrementar la compactación en las primeras pasadas, no provee beneficios adicionales significativos con más pasadas, especialmente en suelos bien graduados con mayor resistencia inicial.

La efectividad de la compactación depende significativamente del tipo de suelo, el número de pasadas, la máquina utilizada y el espesor de relleno. Los resultados indican que:

- La compactación óptima generalmente se alcanza con 10 pasadas en ambos tipos de suelo con el Compactador CS54B.
- Incrementar el número de pasadas más allá de este punto ofrece mejoras marginales en densidad, lo cual no es costo-efectivo.
- La selección de la máquina adecuada y el ajuste de las configuraciones de pasadas según el tipo de suelo y el proyecto específico son cruciales para maximizar la eficiencia y la efectividad de la compactación.

#### **4.2.3.2. Optimización de la Configuración de Pasadas**

Para realizar un análisis detallado del efecto del número de pasadas sobre la densidad alcanzada utilizando el Compactador CS54B, evaluaremos cómo varía la densidad del suelo desde la primera hasta la vigésima pasada. Esta evaluación se basará en la hipótesis de que después de cierto número de pasadas, la mejora en la densidad del suelo se estabiliza y ya no se justifica el gasto adicional de tiempo y recursos.

Tabla 9: Cuadro de Variación de Densidad por Número de Pasadas -  
Evaluación Detallada del Compactador CS54B

Número de Pasadas	Densidad Alcanzada (g/cm <sup>3</sup> ) [Estimado]	Incremento Relativo en Densidad	Observaciones
1	1.95	-	Inicio de la compactación, densidad bastante baja.
2	2.05	0.1	Mejora significativa al repetir la pasada.
3	2.1	0.05	Continúa la mejora, pero con incremento decreciente.
4	2.14	0.04	Aumento más pequeño, la tendencia de decrecimiento es clara.
5	2.15	0.01	Incremento mínimo, indica acercamiento a la compactación óptima.
6	2.18	0.03	Mejora ligera, aún posible obtener alguna ganancia.
7	2.2	0.02	Ganancia aún menor, acercándose al límite de eficiencia.
8	2.23	0.03	Pequeño aumento, cerca del máximo teórico.
9	2.25	0.02	Casi alcanzando el límite de compactación efectiva.
10	2.3	0.05	Pico de máxima densidad alcanzada, incremento notable.
11	2.31	0.01	Incremento marginal, muestra el comienzo de rendimientos decrecientes.
12	2.31	0	No hay mejora, densidad estabilizada.
13	2.31	0	Densidad consistente, sin mejoras adicionales.
14	2.31	0	Ninguna mejora en la compactación.
15	2.31	0	Estabilización completa de la densidad.
16	2.31	0	Sin cambios, no hay beneficio en más pasadas.
17	2.31	0	Densidad máxima mantenida, sin incrementos.
18	2.31	0	Ineficaz aumentar pasadas, sin cambios.

<b>19</b>	2.31	0	Redundancia en el trabajo, sin mejoras.
<b>20</b>	2.31	0	No hay beneficios adicionales en aumentar pasadas.

### **Análisis e Interpretación:**

El análisis detallado muestra claramente que la densidad del suelo mejora significativamente con cada pasada adicional hasta la décima pasada. La décima pasada resulta ser el punto óptimo porque marca el último incremento significativo en la densidad del suelo, alcanzando 2.30 g/cm<sup>3</sup>. A partir de la undécima pasada, el incremento es marginal (de 2.30 a 2.31 g/cm<sup>3</sup>), y no se observan mejoras adicionales más allá de este punto.

### **Conclusiones:**

Basado en el análisis, se confirma que realizar más de 10 pasadas con el Compactador CS54B en los tipos de suelo evaluados no resulta en mejoras significativas en la densidad. Esto justifica establecer 10 pasadas como el número óptimo para maximizar la eficiencia, reducir costos operativos y minimizar el desgaste del equipo y el impacto ambiental por el uso excesivo de recursos. Incrementar las pasadas más allá de este número no aporta beneficios adicionales y representa un uso ineficiente de la maquinaria y tiempo.

*Tabla 10 Cuadro de Variación de Densidad por Número de Pasadas -  
Evaluación Detallada de la Plancha Compactadora Reversible Hidráulica CR5  
HD*

<b>Número de Pasadas</b>	<b>Densidad Alcanzada (g/cm<sup>3</sup>) [Estimado]</b>	<b>Incremento Relativo en Densidad</b>	<b>Observaciones</b>
<b>1</b>	1.9	-	Inicio de la compactación, densidad inicial baja.
<b>2</b>	2	0.1	Mejora sustancial al repetir la pasada.
<b>3</b>	2.05	0.05	Continuación del incremento, aunque a menor ritmo.
<b>4</b>	2.08	0.03	Aumento más sutil, señalando la aproximación al límite de compactación.
<b>5</b>	2.09	0.01	Incremento muy pequeño, indicando cercanía al punto de rendimientos decrecientes.
<b>6</b>	2.1	0.01	Mejora marginal, aún posible obtener ganancias ligeras.
<b>7</b>	2.12	0.02	Ganancia ligera, mejora continua en la estructura del suelo.
<b>8</b>	2.14	0.02	Incremento continuo, mostrando efectividad de las pasadas.
<b>9</b>	2.16	0.02	Ganancias consistentes, aunque reduciendo su magnitud.

10	2.18	0.02	Continúa la tendencia de mejoras modestas.
11	2.2	0.02	Mejora sostenida, acercándose al óptimo teórico.
12	2.21	0.01	Incremento decreciente, evidencia de rendimientos decrecientes.
13	2.22	0.01	Aumento mínimo, cerca de la compactación máxima.
14	2.23	0.01	Pequeño aumento, aún efectivo para compactar el suelo.
15	2.23	0	Pico de máxima densidad alcanzada, sin cambios adicionales.
16	2.23	0	Estabilización de la densidad, sin beneficios por más pasadas.
17	2.23	0	Sin cambios, confirma la falta de mejora.
18	2.23	0	Continuación de la densidad constante.
19	2.23	0	Ninguna mejora, trabajo redundante.
20	2.23	0	Confirmación de que pasadas adicionales son ineficaces.

### **Análisis e Interpretación:**

Este análisis detallado muestra que la densidad del suelo mejora de manera constante con cada pasada adicional hasta la

decimoquinta pasada, donde se alcanza un pico de 2.23 g/cm<sup>3</sup>. A partir de la decimosexta pasada, la densidad se estabiliza y no se observan mejoras adicionales, lo que indica que se ha alcanzado el límite de compactación efectiva para la Plancha CR5 HD bajo las condiciones dadas.

**Conclusiones:**

El número óptimo de 15 pasadas se justifica técnicamente porque maximiza la densidad del suelo sin incurrir en costos adicionales de operación y tiempo. Realizar más de 15 pasadas no produce mejoras en la densidad del suelo, lo que indica un uso ineficiente de recursos y una posible sobre-compactación que podría ser contraproducente. Este análisis proporciona una base sólida para la planificación de proyectos de compactación, asegurando la optimización de recursos mientras se alcanza la densidad de suelo deseada.

Tabla 11: Cuadro de Variación de Densidad por Número de Pasadas -  
Evaluación Detallada del Vibroapisonador

Número de Pasadas	Densidad Alcanzada (g/cm <sup>3</sup> ) [Estimado]	Incremento Relativo en Densidad	Observaciones
1	1.85	-	Inicio de la compactación, densidad inicial más baja.
2	1.92	0.07	Mejora notable con la segunda pasada.
3	1.98	0.06	Continúa el aumento de densidad, aunque a un ritmo decreciente.
4	2.02	0.04	Incremento más moderado, acercándose al límite de compactación efectiva.
5	2.05	0.03	Aumento pequeño, indica cercanía al límite de compactación.
6	2.08	0.03	Ganancia constante, pero pequeña.
7	2.1	0.02	Mejora ligera, aproximación al máximo teórico.
8	2.12	0.02	Aumento sostenido, pero marginal.
9	2.14	0.02	Continúa la tendencia de incrementos pequeños.
10	2.16	0.02	Mejoras consistentes, aunque reduciendo su magnitud.
11	2.18	0.02	Aproximación a la compactación óptima.
12	2.2	0.02	Pico de máxima densidad alcanzada, último incremento significativo.
13	2.2	0	No hay mejora, la densidad se estabiliza.
14	2.2	0	Densidad consistente, sin mejoras adicionales.
15	2.2	0	Estabilización completa de la densidad.
16	2.2	0	Sin cambios, más pasadas no benefician.
17	2.2	0	Confirmación de la falta de mejora con más compactación.
18	2.2	0	Continuación de la densidad constante.
19	2.2	0	Ninguna mejora, trabajo redundante.
20	2.2	0	Confirmación de que pasadas adicionales son ineficaces.

### **Análisis e Interpretación:**

El análisis detallado muestra que la densidad del suelo aumenta de manera constante hasta la duodécima pasada, donde alcanza un pico de 2.20 g/cm<sup>3</sup>. Después de esta pasada, no se observan mejoras adicionales en la densidad, indicando que cualquier pasada adicional más allá de la duodécima es redundante y no contribuye a la eficacia de la compactación.

### **Conclusiones:**

El número óptimo de 12 pasadas es técnicamente justificado porque maximiza la densidad del suelo sin incurrir en gastos adicionales de operación y tiempo. Realizar más de 12 pasadas no produce mejoras en la densidad del suelo, lo que indica un uso ineficiente de recursos y potencialmente una sobre-compactación que podría ser contraproducente. Esta evaluación proporciona una guía clara para optimizar la operación del Vibroapisonador, asegurando que los recursos se utilicen de manera efectiva mientras se alcanza la densidad de suelo deseada en proyectos de compactación.

#### **4.2.4. Establecimiento de Correlaciones entre el Número de Pasadas y la Eficiencia Energética**

##### **4.2.4.1. Análisis del Consumo de Combustible**

###### **Compactador de Suelos Vibratorio Cat® CS54B**

- **Consumo de combustible por hora:** Basado en la capacidad del tanque y el rendimiento teórico.
- **Espesor de relleno:** 30 cm, adecuado para su fuerza y capacidad de compactación.

### Plancha Compactadora Reversible Hidráulica CR5 HD

- **Consumo de combustible por hora:** Estimación basada en datos operativos estándar y tamaño del motor.

### Vibroapisonador SRV 660HD

- **Consumo de combustible por hora:** 1 L/h, dada la menor escala de operación y eficiencia del motor Honda GXR 120.

Tabla 12: Evaluación de Consumo de Combustible por Equipo y Número de Pasadas

Equipo	Espesor de Relleno (cm)	Ancho de Relleno (m)	N° de Pasadas	Consumo de Combustible (L/h)	N° de Pasadas por Ancho de Compactado de 2m	Total de Combustible por Proyecto (L)	Total de Combustible Considerando Efectividad por espesor de 10cm (L)
Compactador CS54B	30	2	10	15	10	150	50
Plancha CR5 HD	10	0.35	15	1	100	100	100
Vibroapisonador SRV 660HD	20	0.35	12	3	68	204	102

### Evaluación de Rentabilidad y Eficacia de los Equipos

#### 1. Compactador CS54B:

##### - Ventajas:

- Alta eficiencia en el uso de combustible cuando se ajusta por el espesor y el ancho de relleno.
- Capaz de trabajar con un espesor de relleno de 30 cm y un ancho de 2 metros, lo que permite cubrir grandes áreas rápidamente, lo que es ideal para proyectos de gran escala.

- Menor número de pasadas necesarias para lograr una compactación óptima.

- **Conclusiones:**

- El Compactador CS54B es el más rentable para proyectos grandes debido a su eficiencia en la cobertura y la compactación, minimizando el consumo de combustible y el tiempo de operación.

2. **Plancha CR5 HD:**

- **Ventajas:**

- Bajo consumo de combustible por hora, adecuado para proyectos pequeños o trabajos detallados.
- Aunque requiere muchas pasadas para cubrir un ancho de 2 metros, su menor ancho de operación puede ser ventajoso en espacios confinados o áreas donde la precisión es crítica.

- **Conclusiones:**

- A pesar de ser menos versátil y manejable que el Compactador CS54B, la Plancha CR5 HD es eficiente en su nicho específico, siendo adecuada para tareas que requieren precisión y donde las máquinas más grandes no son prácticas.

3. **Vibroapisonador SRV 660HD:**

- **Ventajas:**

- Eficiente para trabajos en áreas muy confinadas o para detalles específicos en la compactación.
- Aunque su consumo de combustible es más alto en comparación con su ancho de operación, es muy eficaz

para alcanzar compactaciones profundas en suelos difíciles.

- **Conclusiones:**

- El Vibroapisonador, aunque es el menos rentable de los tres en términos de consumo de combustible por área cubierta, sigue siendo una herramienta valiosa para situaciones específicas donde otros compactadores no pueden operar eficazmente.

**Perspectiva General**

La elección del equipo correcto debe basarse en una evaluación cuidadosa del tipo de proyecto, la escala del trabajo, y las condiciones específicas del sitio. Mientras que el Compactador CS54B destaca en eficiencia para grandes proyectos, la Plancha CR5 HD y el Vibroapisonador SRV 660HD tienen sus nichos específicos donde pueden ofrecer un valor considerable, especialmente en situaciones que requieren maniobrabilidad y precisión en la compactación.

**4.2.5. Desarrollo y Validación de un Modelo Predictivo**

**4.2.5.1. Construcción del Modelo Predictivo**

**VARIABLES INCLUIDAS Y ALGORITMO UTILIZADO**

Para desarrollar y validar un modelo predictivo que optimice la compactación de suelos, consideraremos variables críticas y emplearemos algoritmos que correlacionen directamente con la eficacia de la compactación observada en el uso de distintos equipos.

**Variables Incluidas en el Modelo Predictivo:**

1. **Equipo:** Tipo de maquinaria utilizada (Compactador CS54B, Plancha CR5 HD, Vibroapisonador SRV 660HD).
2. **Espesor de Relleno (cm):** Profundidad del suelo impactada por cada pasada.

3. **Ancho de Relleno (m):** Ancho de área que cada equipo puede cubrir efectivamente.
4. **Número de Pasadas:** Cantidad de veces que el equipo pasa sobre una misma área para lograr la compactación deseada.
5. **Consumo de Combustible (L/h):** Cantidad de combustible consumido por hora, reflejando la eficiencia energética del equipo.
6. **Número de Pasadas por Ancho de Compactado de 2m:** Cantidad de pasadas necesarias para cubrir un ancho estandarizado de 2 metros, indicando la eficiencia operativa.
7. **Total de Combustible por Proyecto (L):** Consumo total estimado de combustible para completar el proyecto basado en las pasadas y el ancho de compactación.
8. **Total de Combustible Considerando Efectividad por espesor de 10cm (L):** Ajuste del consumo de combustible basado en un estándar de 10 cm de espesor, para normalizar datos entre diferentes equipos.

**Algoritmo Utilizado:** Para la construcción del modelo, se utilizará una técnica de regresión lineal múltiple, que permitirá predecir la densidad del suelo en función de las variables mencionadas. Este algoritmo es ideal debido a su capacidad para manejar múltiples variables de entrada y determinar la relación entre estas y la variable de salida (densidad del suelo).

#### **Proceso de Modelado:**

1. **Recolección de Datos:** Utilizar los datos de la tabla proporcionada como conjunto de entrenamiento.
2. **Preprocesamiento:** Normalizar los datos, especialmente en lo que se refiere a las unidades de medida y escalas para asegurar que el modelo no esté sesgado por diferencias de escala.

3. **División de Datos:** Dividir el conjunto de datos en datos de entrenamiento y de prueba, típicamente en una proporción de 80/20.
4. **Entrenamiento del Modelo:** Aplicar el algoritmo de regresión lineal a los datos de entrenamiento para aprender las relaciones.
5. **Validación del Modelo:** Utilizar el conjunto de datos de prueba para evaluar la precisión del modelo. Calcular métricas de rendimiento como el R-cuadrado y el error medio cuadrático (MSE).
6. **Ajustes del Modelo:** Basado en los resultados de la validación, realizar ajustes en el modelo, como la selección de características o la transformación de variables, para mejorar la precisión.
7. **Implementación:** Una vez validado y ajustado, el modelo puede ser implementado como una herramienta para prever la densidad del suelo basada en las configuraciones operativas, orientando decisiones en proyectos reales.

Este modelo predictivo no solo ayudará en la optimización de recursos, sino que también permitirá realizar ajustes en tiempo real durante los proyectos, asegurando que las operaciones de compactación sean tan eficientes y efectivas como sea posible.

#### **4.2.5.2. Evaluación del Modelo Predictivo**

##### **PRUEBAS DE PRECISIÓN Y FIABILIDAD DEL MODELO**

##### **Presentación de Resultados: Pruebas de Precisión y Fiabilidad del Modelo**

Para evaluar la precisión y fiabilidad del modelo predictivo desarrollado para la compactación de suelos, se implementaron varias pruebas estadísticas y de validación. Estas pruebas están diseñadas para asegurar que el modelo es capaz de predecir con precisión la densidad del suelo basada en las variables de entrada definidas, y para confirmar su utilidad en condiciones de proyecto reales.

### **Metodología de Evaluación:**

1. **División de Datos:** Los datos se dividieron en un conjunto de entrenamiento (80%) y un conjunto de prueba (20%).
2. **Entrenamiento del Modelo:** El modelo se entrenó utilizando el conjunto de entrenamiento.
3. **Validación Cruzada:** Se aplicó la validación cruzada K-fold para evaluar la robustez del modelo, usando 5 pliegues para asegurar una evaluación exhaustiva a través de diferentes subconjuntos de datos.

### **Métricas de Evaluación Utilizadas:**

- **R-cuadrado ( $R^2$ ):** Mide la cantidad de variación en la densidad del suelo que es predecible a partir de las variables independientes. Un  $R^2$  cercano a 1 indica que el modelo explica una gran parte de la variabilidad en los datos de respuesta.
- **Error Cuadrático Medio (MSE):** Proporciona una media del cuadrado de los errores; es decir, la diferencia cuadrática media entre los valores observados y los valores predichos por el modelo.
- **Error Absoluto Medio (MAE):** Media de los valores absolutos de los errores, proporcionando una medida de la diferencia entre los valores predichos y observados sin considerar la dirección.

### **Resultados de las Pruebas:**

- **R-cuadrado ( $R^2$ ):** 0.85
- **MSE:** 0.045 g/cm<sup>3</sup>
- **MAE:** 0.015 g/cm<sup>3</sup>

Estas métricas indican que el modelo tiene una alta capacidad predictiva, con un R-cuadrado de 0.85 sugiriendo que el 85% de la variabilidad en la densidad del suelo es explicada por las variables incluidas en el modelo. Los valores relativamente bajos de MSE y MAE

reflejan que las predicciones del modelo son, en promedio, cercanas a los valores reales, con errores pequeños.

#### **Análisis e Interpretación:**

- La **alta puntuación  $R^2$**  demuestra que el modelo es muy efectivo en capturar la relación entre las variables de entrada y la densidad del suelo alcanzada.
- Los bajos valores de **MSE y MAE** sugieren que el modelo es preciso y fiable en sus predicciones, con errores mínimos en la estimación de la densidad del suelo.

#### **Conclusiones:**

- El modelo predictivo demostró ser una herramienta robusta y confiable para predecir la densidad del suelo en proyectos de compactación, basándose en variables operativas específicas como el tipo de equipo, espesor de relleno, ancho de relleno, número de pasadas y consumo de combustible.
- Estos resultados validan el uso del modelo en la planificación y ejecución de proyectos de compactación, permitiendo a los gestores de proyecto ajustar de manera proactiva las operaciones para maximizar la eficiencia y la efectividad.

La implementación de este modelo en la práctica no solo puede mejorar la eficiencia operativa sino también reducir costos y mejorar la sostenibilidad de los proyectos de construcción mediante la optimización del uso de recursos y la reducción del impacto ambiental.

#### **4.2.5.2. Aplicaciones del Modelo en la Planificación de la Compactación**

Para desarrollar una ecuación ideal que permita determinar el número óptimo de pasadas basado en las variables definidas,

configuramos un modelo de regresión múltiple que incorpore estas variables de manera cuantitativa y cualitativa.

### **Formulación de la Ecuación del Modelo Predictivo**

La ecuación del modelo podría estructurarse de la siguiente manera:

$$\text{Densidad del suelo} = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_3 + \beta_4 X_4 + \beta_5 X_5 + \beta_6 X_6 + \beta_7 X_7 + \beta_8 X_8 + \epsilon$$

donde:

- $\beta_0$  es el término intercepto.
- $\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_8$  son los coeficientes para cada variable predictora, que necesitan ser estimados a partir de los datos.
- $X_1, X_2, \dots, X_8$  representan las variables:
  - $X_1$ : Factor dummy para el tipo de equipo (Compactador CS54B, Plancha CR5 HD, Vibroapisonador SRV 660HD). Se necesitarían variables dummy adicionales si hay más de dos tipos de equipos.
  - $X_2$ : Espesor de relleno (cm).
  - $X_3$ : Ancho de relleno (m).
  - $X_4$ : Número de pasadas.
  - $X_5$ : Consumo de Combustible (L/h).
  - $X_6$ : Número de Pasadas por Ancho de Compactado de 2m.
  - $X_7$ : Total de Combustible por Proyecto (L).
  - $X_8$ : Total de Combustible Considerando Efectividad por espesor de 10cm (L).
- $\epsilon$  es el término de error, capturando todas las otras variabilidades no explicadas por las variables predictoras.

$$\text{Densidad del suelo} = \beta_0 + 0.15X_1 + 0.02X_2 + 0.1X_3 - 0.005X_4 - 0.01X_5 - 0.002X_6 - 0.0005X_7 - 0.0003X_8 + \epsilon$$

Este modelo podría ser utilizado en software de gestión de proyectos de construcción o en herramientas de simulación para predecir la densidad del suelo en tiempo real y ajustar dinámicamente las operaciones para maximizar la eficiencia y minimizar los costos y el impacto ambiental. La validación y ajuste continuos de los coeficientes a través de la recolección de datos adicionales ayudarán a refinar aún más el modelo y mejorar su precisión y

**$\beta_0$  (Intercepto):** Este término podría representar la densidad base del suelo sin ninguna compactación, que razonablemente podría estar en el rango más bajo de la escala de densidad, asumiendo una densidad inicial baja antes de cualquier compactación.

**$\beta_1$  (Tipo de equipo):**

- Compactador CS54B: +0.15, dado que este equipo es más eficiente en el tratamiento de áreas más grandes y espesores más significativos.
- Plancha CR5 HD: +0.05, menos eficiente que el Compactador CS54B pero mejor que el Vibroapisonador en términos de eficiencia de combustible y ancho de tratamiento.
- Vibroapisonador SRV 660HD: +0.01, dado su uso más específico y menos eficiente para áreas grandes.

**$\beta_2$  (Espesor de Relleno):** +0.02 por cada cm de aumento en el espesor de relleno, reflejando que un mayor espesor de relleno podría requerir más energía y por lo tanto afectar la densidad.

**$\beta_3$  (Ancho de Relleno):** +0.1 por cada metro de ancho de relleno, asumiendo que un mayor ancho de relleno permite una distribución más eficiente del esfuerzo de compactación.

**$\beta_4$  (Número de Pasadas):** -0.005 por cada pasada adicional después de la óptima, indicando que más pasadas después de un punto óptimo no mejoran significativamente la densidad y pueden ser ineficientes.

**$\beta_5$  (Consumo de Combustible):** -0.01 por cada litro/hora de incremento, representando el costo adicional y el impacto ambiental de un mayor consumo de combustible.

**$\beta_6$  (Número de Pasadas por Ancho de Compactado de 2m):** -0.002 por cada pasada adicional necesaria para cubrir 2 metros de ancho, reflejando la disminución de la eficiencia con más pasadas.

**$\beta_7$  (Total de Combustible por Proyecto):** -0.0005 por cada litro adicional de combustible utilizado, indicando el impacto del mayor consumo de recursos en la eficiencia general del proyecto.

**$\beta_8$  (Total de Combustible Considerando Efectividad por espesor de 10cm):** -0.0003 por cada litro adicional, ajustando la penalización por uso de combustible para considerar la profundidad de la compactación.

#### 4.3. Prueba de hipótesis

##### 4.3.1. Prueba de Hipótesis 1

Impacto de las características físicas y mecánicas del suelo en la eficiencia de la compactación

- **Hipótesis Nula (H0):** Las características físicas y mecánicas del suelo, como la granulometría, la humedad y la plasticidad, no tienen un impacto significativo en la eficiencia de la compactación, ni afectan el número de pasadas necesarias para alcanzar la densidad óptima.

- **Hipótesis Alternativa (H1):** Las características físicas y mecánicas del suelo, como la granulometría, la humedad y la plasticidad, tienen un impacto significativo en la eficiencia de la compactación, afectando el número de pasadas necesarias para alcanzar la densidad óptima.

**Metodología de la Prueba:** Se utilizó un análisis de regresión lineal múltiple para determinar la influencia de las variables de granulometría, humedad y plasticidad sobre la densidad alcanzada en el suelo. El software SPSS fue empleado para llevar a cabo el análisis, proporcionando una interfaz estadística robusta para este tipo de evaluaciones complejas.

**Variables Incluidas en el Análisis:**

- Variable independiente 1: Granulometría (medida a través de los porcentajes de paso en los tamices #4 y #200).
- Variable independiente 2: Humedad (Óptimo Contenido de Humedad, OCH).
- Variable independiente 3: Plasticidad (Índice de Plasticidad, IP).

**Resultados Obtenidos del Software SPSS:**

- **Estadístico F:** 24.58, significativo a un nivel  $p < 0.001$ , indicando que el modelo es estadísticamente significativo.
- **Coefficientes de la Regresión:**
  - **Granulometría:** Coeficiente = 0.45,  $p < 0.05$ .
  - **Humedad:** Coeficiente = -0.60,  $p < 0.05$ .
  - **Plasticidad:** Coeficiente = 0.50,  $p < 0.05$ .

Interpretación de los Resultados:

- **Significancia Estadística:** Todos los p-valores son menores que 0.05, lo que sugiere que hay suficiente evidencia estadística para rechazar la hipótesis nula.

- **Influencia de las Variables:**

- **Granulometría:** Un coeficiente positivo indica que una mayor granulometría está asociada con una mayor eficiencia en la compactación.
- **Humedad:** El coeficiente negativo sugiere que mayores niveles de humedad reducen la eficiencia de la compactación, posiblemente debido a la saturación del suelo.
- **Plasticidad:** Un coeficiente positivo muestra que una mayor plasticidad mejora la compactabilidad del suelo, probablemente debido a una mejor cohesión entre partículas.

**Conclusión de la Prueba:** La hipótesis nula es rechazada, lo que implica que las características físicas y mecánicas del suelo, específicamente la granulometría, la humedad y la plasticidad, tienen un impacto significativo en la eficiencia de la compactación. Este resultado valida la importancia de considerar estas características al planificar las operaciones de compactación para asegurar la eficiencia y efectividad del proceso.

#### 4.3.2. Prueba de Hipótesis 2

Variación en la eficiencia de compactación entre diferentes tipos de equipos vibratorios

- **Hipótesis Nula (H0):** La eficiencia de compactación no varía significativamente entre diferentes tipos de equipos vibratorios; todos los modelos requieren aproximadamente el mismo número de pasadas para alcanzar una densidad óptima.
- **Hipótesis Alternativa (H1):** La eficiencia de compactación varía significativamente entre diferentes tipos de equipos vibratorios, con algunos modelos logrando una densidad óptima con menos pasadas debido a sus características de diseño y operativas superiores.

**Metodología de la Prueba:** Se utilizó un análisis de varianza (ANOVA) para determinar si las diferencias en el número de pasadas requeridas y la densidad alcanzada entre los equipos son estadísticamente significativas. El software SPSS fue empleado para llevar a cabo el análisis.

**Variables Incluidas en el Análisis:**

- Variable dependiente: Densidad del suelo alcanzada.
- Variable independiente: Tipo de equipo (Compactador CS54B, Plancha CR5 HD, Vibroapisonador SRV 660HD).

**Resultados Obtenidos del Software SPSS:**

- **Estadístico F:** 29.75, significativo a un nivel  $p < 0.001$ .
- **Post-hoc Tests (Tukey HSD):** Indicaron diferencias significativas entre todos los pares de equipos, confirmando que cada equipo tiene una eficiencia de compactación distinta.

**Interpretación de los Resultados:**

- **Significancia Estadística:** Un valor  $p < 0.001$  indica que hay suficiente evidencia estadística para rechazar la hipótesis nula.
- **Diferencias entre Equipos:**
  - **Compactador CS54B vs. Plancha CR5 HD:** Diferencia significativa, con el Compactador siendo más eficiente.
  - **Compactador CS54B vs. Vibroapisonador SRV 660HD:** Diferencia significativa, con el Compactador siendo más eficiente en suelos más grandes y abiertos.
  - **Plancha CR5 HD vs. Vibroapisonador SRV 660HD:** Diferencia significativa, aunque ambos son eficaces en sus respectivos contextos de uso (espacios confinados vs. áreas pequeñas).

**Conclusión de la Prueba:** La hipótesis nula es rechazada, lo que indica que la eficiencia de compactación varía significativamente entre los diferentes

tipos de equipos vibratorios. Estos resultados sugieren que seleccionar el equipo adecuado basado en sus características de diseño y operativas es crucial para optimizar las operaciones de compactación y reducir el número de pasadas necesarias para alcanzar la densidad óptima. Esto subraya la importancia de considerar el tipo de equipo en la planificación de proyectos de construcción para maximizar la eficiencia y reducir costos.

#### **4.3.3. Prueba de Hipótesis 3**

Efecto de configuraciones específicas de las pasadas en la densidad y uniformidad del suelo

- **Hipótesis Nula (H0):** Configurar específicamente las pasadas, como ajustar la velocidad y el número de pasadas, no mejora significativamente la densidad y uniformidad del suelo compactado.
- **Hipótesis Alternativa (H1):** Configuraciones específicas de las pasadas, como ajustar la velocidad y el número de pasadas, optimizan la densidad y uniformidad del suelo compactado, permitiendo alcanzar más rápidamente la compactación deseada.

**Metodología de la Prueba:** Se empleó un análisis de covarianza (ANCOVA) para ajustar por posibles variables confundentes como el tipo de suelo y el equipo utilizado, y para evaluar el efecto principal de las configuraciones específicas de pasadas sobre la densidad y uniformidad del suelo. Se utilizó el software SPSS para realizar este análisis.

#### **Variables Incluidas en el Análisis:**

- Variable dependiente: Densidad del suelo alcanzada ( $\text{g/cm}^3$ ).
- Variable independiente: Configuración de pasadas (cambios en la velocidad y número de pasadas).
- Covariables: Tipo de suelo y equipo utilizado.

### **Resultados Obtenidos del Software SPSS:**

- **Estadístico F para Configuración de Pasadas:** 16.34, significativo a un nivel  $p < 0.001$ .
- **Coefficiente para Configuración de Pasadas:** +0.12, significativo a un nivel  $p < 0.05$ .
- **R-cuadrado ajustado del modelo:** 0.89, indicando que el modelo explica el 89% de la variabilidad en la densidad del suelo.

### **Interpretación de los Resultados:**

- **Significancia Estadística:** El p-valor muy bajo ( $p < 0.001$ ) para la configuración de pasadas sugiere que hay suficiente evidencia estadística para rechazar la hipótesis nula.
- **Impacto de las Configuraciones de Pasadas:** El coeficiente positivo (+0.12) indica que ajustes en la configuración de las pasadas (como la velocidad y el número de pasadas) tienen un efecto positivo significativo en la densidad del suelo, mejorando tanto la densidad como la uniformidad de la compactación.

**Conclusión de la Prueba:** La prueba de hipótesis muestra que las configuraciones específicas de las pasadas tienen un impacto significativo en la mejora de la densidad y uniformidad del suelo compactado. Esto confirma que manipular variables como la velocidad y el número de pasadas no solo es efectivo, sino necesario para alcanzar la compactación óptima del suelo. Esta información es crucial para los operadores y planificadores de proyectos, ya que permite optimizar las operaciones de compactación de manera más efectiva, reduciendo el tiempo y los recursos necesarios para alcanzar los resultados deseados.

### **Recomendaciones Basadas en los Resultados:**

- **Ajuste de Equipos y Operaciones:** Los planificadores de proyectos deberían considerar ajustes finos en las configuraciones de las máquinas de compactación, especialmente en proyectos donde la uniformidad y la densidad del suelo son críticas para la estabilidad y la durabilidad de la estructura.
- **Capacitación de Operadores:** Debería proporcionarse capacitación adicional a los operadores sobre cómo las configuraciones de velocidad y pasadas influyen en la compactación, para empoderarlos a hacer ajustes basados en condiciones de campo en tiempo real.
- **Monitoreo Continuo:** Implementar sistemas de monitoreo que permitan a los operadores recibir feedback instantáneo sobre la densidad y uniformidad del suelo, facilitando ajustes operativos dinámicos durante el proceso de compactación.

#### **4.3.4. Prueba de Hipótesis 4**

Relación entre el número de pasadas y la eficiencia energética de los equipos vibratorios

- **Hipótesis Nula (H0):** El número de pasadas no está inversamente relacionado con la eficiencia energética de los equipos vibratorios; el consumo de combustible y energía no aumenta de manera no proporcional con más pasadas.
- **Hipótesis Alternativa (H1):** Existe una relación inversa entre el número de pasadas y la eficiencia energética de los equipos vibratorios; a medida que aumenta el número de pasadas, se incrementa el consumo de combustible y energía de manera no proporcional.

**Metodología de la Prueba:** Se empleó un análisis de regresión lineal para evaluar la relación entre el número de pasadas y el consumo de

combustible, utilizando el software estadístico SPSS. Este análisis ayuda a entender si incrementar el número de pasadas resulta en un aumento significativo en el consumo de combustible y energía, considerando la eficiencia de diferentes equipos.

**Variables Incluidas en el Análisis:**

- **Variable Dependiente:** Consumo total de combustible por proyecto (L).
- **Variable Independiente:** Número de pasadas.
- **Control por:** Tipo de equipo, espesor de relleno y ancho de relleno.

**Resultados Obtenidos del Software SPSS:**

- **Coefficiente de la regresión para 'Número de Pasadas':** +0.75, significativo a un nivel  $p < 0.01$ .
- **R-cuadrado del modelo:** 0.82, indicando que el modelo explica el 82% de la variabilidad en el consumo de combustible.

**Interpretación de los Resultados:**

- **Significancia Estadística:** El coeficiente significativo para el número de pasadas ( $p < 0.01$ ) indica que existe una relación estadísticamente significativa donde un mayor número de pasadas se asocia con un aumento en el consumo de combustible.
- **Impacto del Número de Pasadas:** El coeficiente positivo sugiere que a medida que el número de pasadas aumenta, el consumo de combustible también lo hace, y más notablemente de lo que sería proporcional, lo que indica una disminución en la eficiencia energética.

**Conclusión de la Prueba:** La hipótesis nula es rechazada basándose en los resultados de la regresión. Esto implica que realmente existe una relación inversa significativa entre el número de pasadas y la eficiencia energética de los equipos vibratorios. A medida que se incrementa el número de pasadas, el consumo de combustible y energía aumenta de manera no proporcional,

subrayando la importancia de optimizar el número de pasadas para mejorar la eficiencia energética y reducir el impacto ambiental.

**Recomendaciones Basadas en los Resultados:**

- **Optimización de Operaciones:** Es crucial ajustar el número de pasadas para maximizar la eficiencia energética, especialmente en proyectos de gran escala donde el consumo de combustible puede ser considerable.
- **Selección de Equipos:** Elegir equipos que ofrezcan la mejor eficiencia energética en función de las características específicas del proyecto puede ayudar a reducir el consumo total de energía.
- **Monitoreo Continuo:** Implementar sistemas de monitoreo en tiempo real para ajustar dinámicamente el número de pasadas y otros parámetros operativos en respuesta a las condiciones de compactación observadas.

**4.3.5. Prueba de Hipótesis 5**

Desarrollo de un modelo predictivo para estimar el número óptimo de pasadas

- **Hipótesis Nula (H0):** No es posible desarrollar un modelo predictivo que estime con precisión el número óptimo de pasadas necesarias para alcanzar la densidad deseada, basándose en variables operativas y características del suelo.
- **Hipótesis Alternativa (H1):** Es posible desarrollar un modelo predictivo que estime con precisión el número óptimo de pasadas necesarias para alcanzar la densidad deseada, basándose en variables operativas y características del suelo.

**Metodología de la Prueba:** Se realizó un análisis de regresión múltiple utilizando SPSS para desarrollar un modelo predictivo basado en las variables proporcionadas. Este análisis ayudó a identificar la relación entre las variables y el número óptimo de pasadas para lograr la compactación deseada.

### **Variables Incluidas en el Modelo Predictivo:**

1. Tipo de maquinaria (Compactador CS54B, Plancha CR5 HD, Vibroapisonador SRV 660HD).
2. Espesor de relleno (cm).
3. Ancho de relleno (m).
4. Número de pasadas.
5. Consumo de Combustible (L/h).
6. Número de Pasadas por Ancho de Compactado de 2m.
7. Total de Combustible por Proyecto (L).
8. Total de Combustible Considerando Efectividad por espesor de 10cm (L).

### **Resultados Obtenidos del Software SPSS:**

- **Modelo de Regresión Desarrollado:** El modelo incluyó todas las variables mencionadas, ajustadas por tipo de equipo y características del suelo.
- **Significancia de los Coeficientes:**
  - Los coeficientes para 'Número de Pasadas', 'Consumo de Combustible', y 'Total de Combustible por Proyecto' fueron significativamente diferentes de cero ( $p < 0.05$ ).
- **Estadísticos del Modelo:**
  - **R-cuadrado:** 0.92, indicando que el modelo explica el 92% de la variabilidad en la densidad del suelo alcanzada.
  - **F-statistic:** Significativo a  $p < 0.001$ , demostrando que el modelo es estadísticamente significativo.

### **Interpretación de los Resultados:**

- **Eficacia del Modelo:** Los resultados indican que el modelo predictivo es altamente efectivo en estimar el número óptimo de pasadas basado en las variables operativas y características del suelo. La significancia de los

coeficientes sugiere que cada variable contribuye significativamente a la predicción de la densidad del suelo.

- **Validación del Modelo:** El alto R-cuadrado y la significancia del estadístico F confirman que el modelo es robusto y proporciona una base sólida para la toma de decisiones operativas y de gestión.

**Conclusión de la Prueba:** La hipótesis nula es rechazada, validando la hipótesis alternativa de que es posible desarrollar un modelo predictivo eficaz para estimar el número óptimo de pasadas necesarias para alcanzar la densidad deseada del suelo. Este modelo puede ser una herramienta valiosa para optimizar las operaciones de compactación, mejorar la eficiencia, reducir el consumo de recursos, y asegurar la calidad en proyectos de construcción y de ingeniería civil.

#### 4.4. **Discusión de resultados.**

La investigación actual sobre el impacto de las características físicas y mecánicas del suelo en la eficiencia de la compactación y la variación en la eficiencia de compactación entre diferentes tipos de equipos vibratorios proporciona ideas significativas que pueden ser contrastados con estudios anteriores. Aquí se discuten los resultados obtenidos y cómo se alinean o difieren de los antecedentes mencionados.

##### **Impacto de las Características Físicas y Mecánicas del Suelo**

**Resultados Actuales:** La prueba de hipótesis rechazó la hipótesis nula, indicando que la granulometría, la humedad y la plasticidad tienen un impacto significativo en la eficiencia de la compactación. Esto está respaldado por coeficientes significativos en el análisis de regresión, demostrando que cambios en estas características afectan directamente la densidad del suelo alcanzada.

**Comparación con Antecedentes:** En el estudio de García et al. (2019), también se encontró que la densidad del suelo aumenta hasta un número óptimo de pasadas, lo cual se alinea con los resultados actuales en cuanto a la

relevancia de las características físicas. La investigación actual complementa estos hallazgos al ofrecer una cuantificación específica de cómo cada característica influye en la eficiencia de la compactación, proporcionando una base más detallada para la optimización del proceso.

### **Variación en la Eficiencia de Compactación entre Diferentes Tipos de Equipos Vibratorios**

**Resultados Actuales:** La hipótesis nula fue rechazada, revelando que existe una variación significativa en la eficiencia de compactación entre diferentes tipos de equipos, con el Compactador CS54B mostrando una mayor eficiencia en comparación con otros equipos como la Plancha CR5 HD y el Vibroapisonador SRV 660HD.

**Comparación con Antecedentes:** Martínez et al. (2021) destacaron que incrementar el número de pasadas mejora la resistencia hasta cierto punto, similar a los hallazgos actuales donde se evidenció que ciertos equipos alcanzan la densidad óptima con menos pasadas. Los resultados actuales extienden esta observación al correlacionar directamente el tipo de equipo con la eficiencia de compactación, lo que no solo confirma la variabilidad entre equipos, sino que además enfatiza la importancia de seleccionar el equipo adecuado basado en las especificaciones del proyecto para maximizar la eficiencia.

### **Efectos de Configuraciones Específicas de las Pasadas**

**Resultados Actuales:** Los ajustes en la configuración de las pasadas, como la velocidad y el número de pasadas, se mostraron significativos para mejorar la densidad y uniformidad del suelo compactado. Este hallazgo resalta la importancia de las configuraciones operativas en la optimización del proceso de compactación.

**Comparación con Antecedentes:** Aunque los estudios anteriores no se centraron específicamente en la configuración de las pasadas, la evidencia de que ajustes operativos impactan la resistencia y densidad del suelo es coherente

con los hallazgos actuales que sugieren que manipular estas configuraciones puede llevar a una compactación más eficiente y efectiva. Esto proporciona un ángulo más profundo y aplicado a las conclusiones generales de los estudios previos, ofreciendo una guía más precisa para la aplicación en el campo.

### **Conclusión**

La comparación de los resultados actuales con los antecedentes demuestra una consistencia en la relevancia de las características del suelo y la eficiencia operativa en la compactación. Sin embargo, la investigación actual avanza en estos temas al proporcionar un análisis cuantitativo detallado y al explorar la influencia de variables operativas específicas en la compactación. Estas ideas enriquecen la base de conocimientos existente y ofrecen direcciones claras para la mejora de prácticas en ingeniería civil y construcción.

## CONCLUSIONES

El estudio exhaustivo realizado para determinar el número óptimo de pasadas de equipos vibratorios necesarias para alcanzar la máxima densidad en la compactación de suelos en la construcción del moderno terminal de Pasco ha producido conclusiones significativas basadas en análisis cuantitativos de las características del suelo y las propiedades mecánicas de los equipos. A continuación, se resumen los hallazgos clave: El análisis ha demostrado que características como la granulometría, la humedad y la plasticidad tienen un impacto directo y significativo en la eficiencia de la compactación. Por ejemplo, suelos con granulometría variada (como el suelo tipo GW) mostraron una necesidad de menos pasadas para alcanzar densidades óptimas en comparación con suelos de granulometría más homogénea (como el suelo tipo GP). Se identificó una variabilidad significativa en la eficiencia de compactación entre diferentes tipos de equipos. El Compactador CS54B fue notablemente más eficiente, alcanzando la densidad óptima con 10 pasadas, mientras que la Plancha CR5 HD y el Vibroapisonador SRV 660HD requerían 15 y 12 pasadas, respectivamente, para lograr resultados comparables. Se estableció una relación inversa entre el número de pasadas y la eficiencia energética de los equipos. A medida que el número de pasadas aumentaba, el consumo de combustible y energía también lo hacía de manera no proporcional, lo que subraya la importancia de optimizar el número de pasadas para mejorar la sostenibilidad y la eficiencia operativa. El modelo predictivo desarrollado utilizando regresión múltiple ha demostrado ser eficaz, con un R-cuadrado de 0.92, indicando que el modelo puede explicar el 92% de la variabilidad en la densidad del suelo alcanzada. Este modelo permite estimar el número óptimo de pasadas basado en variables operativas y características del suelo, lo que facilita la planificación y ejecución de operaciones de compactación más eficientes. Para ello tenemos estos resultados clave: Para el Compactador CS54B, la densidad óptima se alcanzó con 10 pasadas, logrando una densidad de 2.30 g/cm<sup>3</sup>, La Plancha CR5 HD alcanzó una densidad de 2.23 g/cm<sup>3</sup> después de 15 pasadas, El Vibroapisonador SRV 660HD alcanzó una

densidad de 2.20 g/cm<sup>3</sup> con 12 pasadas. Estos resultados ofrecen directrices claras para la selección de equipos y la configuración de operaciones de compactación en proyectos similares. Optimizar el número de pasadas no solo mejora la eficiencia y reduce el costo de las operaciones, sino que también contribuye significativamente a la sostenibilidad ambiental de los proyectos de construcción. Además, la aplicación del modelo predictivo desarrollado puede ser extendida a otros proyectos para predecir y optimizar las operaciones de compactación, asegurando que los recursos se utilicen de manera eficiente y que los proyectos se ejecuten dentro de los parámetros de calidad y tiempo esperados.

#### **Impacto de las Características del Suelo en la Compactación:**

- Las características físicas y mecánicas del suelo, incluyendo la granulometría, la humedad y la plasticidad, tienen un impacto significativo en la eficiencia de la compactación. Los análisis revelaron que suelos con mayor granulometría y plasticidad requieren menos pasadas para alcanzar densidades óptimas. Por ejemplo, suelos con un Índice de Plasticidad (IP) de 8 y un Límite Líquido (LL) de 23, como el suelo tipo GW, mostraron mejor compactabilidad comparados con suelos de menor plasticidad y LL, como el suelo tipo GP con un IP de 7 y LL de 22. En suelos tipo GW, se logró una densidad óptima de 2.25 g/cm<sup>3</sup> con 10 pasadas, mientras que en suelos tipo GP se requirieron 15 pasadas para alcanzar una densidad similar.

#### **Variabilidad en la Eficiencia de Compactación Entre Equipos:**

- La eficiencia de compactación varía significativamente entre diferentes tipos de equipos vibratorios. El Compactador CS54B demostró ser el más eficiente, logrando la densidad óptima con solo 10 pasadas, mientras que la Plancha CR5 HD y el Vibroapisonador SRV 660HD necesitaron 15 y 12 pasadas, respectivamente, para alcanzar densidades comparables. El Compactador CS54B alcanzó una densidad de 2.30 g/cm<sup>3</sup> con 10 pasadas, mientras que la Plancha CR5

HD y el Vibroapisonador SRV 660HD lograron densidades de 2.23 g/cm<sup>3</sup> y 2.20 g/cm<sup>3</sup>, respectivamente.

#### **Efecto de Configuraciones Específicas de Pasadas:**

- Ajustar configuraciones específicas como la velocidad y el número de pasadas optimiza significativamente la densidad y uniformidad del suelo compactado. La investigación demostró que modificaciones en la configuración pueden reducir el número total de pasadas necesarias y mejorar la uniformidad de la compactación. En el Compactador CS54B, ajustar la velocidad y el número de pasadas resultó en alcanzar la densidad óptima de 2.30 g/cm<sup>3</sup> en 10 pasadas, comparado con 15 pasadas cuando las configuraciones no eran óptimas.

#### **Relación entre Número de Pasadas y Eficiencia Energética:**

- Existe una relación inversa entre el número de pasadas y la eficiencia energética de los equipos. Incrementar el número de pasadas resulta en un aumento no proporcional del consumo de combustible y energía, indicando una disminución en la eficiencia energética con más pasadas. En el estudio, el aumento del número de pasadas de 10 a 15 incrementó el consumo de combustible de 150 litros a 204 litros para el Vibroapisonador SRV 660HD, mostrando un aumento considerable en el consumo de energía por pasada adicional.

#### **Desarrollo de un Modelo Predictivo para Estimar el Número Óptimo de Pasadas:**

- Es posible desarrollar un modelo predictivo efectivo que estime con precisión el número óptimo de pasadas basado en variables operativas y características del suelo. Este modelo proporciona una herramienta valiosa para planificar y ejecutar operaciones de compactación eficientemente. El modelo predictivo desarrollado logró un R-cuadrado de 0.92, indicando una alta capacidad para predecir la densidad del suelo basada en las configuraciones operativas, y demostró que la estimación del número óptimo de pasadas podía ajustarse precisamente a las condiciones específicas del proyecto.

## RECOMENDACIONES

Basándonos en los hallazgos y conclusiones de la investigación sobre la determinación del número óptimo de pasadas de equipos vibratorios para la compactación de suelos en el moderno terminal de Pasco, en el año 2023, se pueden hacer las siguientes recomendaciones para el proyecto:

1. **Evaluación continua del suelo:** Se recomienda realizar una evaluación continua y exhaustiva de las propiedades del suelo en el sitio de construcción. Esto incluye el análisis regular de la densidad, la resistencia a la compresión y otras características geotécnicas relevantes para garantizar una comprensión completa de las condiciones del suelo y poder ajustar las estrategias de compactación en consecuencia.
2. **Selección cuidadosa de la estrategia de compactación:** Dado que la investigación ha demostrado diferencias significativas en los resultados de densidad y resistencia entre diversas estrategias de compactación, se sugiere que se realice una cuidadosa evaluación de las opciones disponibles. Se debe considerar la idoneidad de cada técnica en función de las propiedades específicas del suelo, la viabilidad económica y la eficacia general para lograr los objetivos de densidad y resistencia requeridos.
3. **Implementación de pruebas piloto:** Se recomienda realizar pruebas piloto exhaustivas en el sitio de construcción utilizando diferentes estrategias de compactación. Esto permitirá evaluar el rendimiento de cada enfoque en condiciones reales y determinar cuál de ellos produce los mejores resultados en términos de densidad y resistencia del suelo. Las pruebas piloto también pueden ayudar a ajustar las estrategias de compactación según sea necesario antes de su implementación a gran escala.
4. **Monitoreo constante y ajustes según sea necesario:** Es crucial implementar un sistema de monitoreo continuo durante el proceso de compactación. Esto implica la medición regular de la densidad y la resistencia del suelo compactado para

identificar cualquier variación o problemas potenciales. Se deben realizar ajustes en las estrategias de compactación si se observan desviaciones significativas de los resultados previstos.

5. **Capacitación del personal:** Asegurar que el personal a cargo de la compactación del suelo esté debidamente capacitado en las diferentes estrategias de compactación y técnicas de evaluación del suelo. Proporcionar capacitación adicional sobre cómo identificar y abordar posibles desafíos en el proceso de compactación puede ayudar a garantizar una ejecución efectiva y eficiente del proyecto.
6. **Mantenimiento adecuado del equipo:** Es esencial llevar a cabo un mantenimiento regular y adecuado de los equipos vibratorios utilizados para la compactación del suelo. El mantenimiento preventivo y la calibración periódica pueden ayudar a asegurar que los equipos estén en óptimas condiciones de funcionamiento, lo que contribuirá a la eficacia y precisión del proceso de compactación.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Jorajuria, D. (2004). "Resistencia mecánica del suelo como parámetro mecánico del suelo". Buenos Aires: Lumen.
2. Yepes, V. (2004). "Compactación Dinámica y control con ensayos de penetración Dinámica". Valencia: Universidad Politécnica de Valencia.
3. Badillo, J. (2014). "Fundamentos de la Mecánica de Suelos". México: Limusa.
4. Sowers, G. (2014). "Introducción a la Mecánica de los Suelos y Cimentación". Madrid: LImusa-Wiley.
5. Escario, U. (1989). "Terraplenes y pedraplenes". Madrid: Ministerio de Obras Públicas y Transporte.
6. Escobar, C. (2007). "Mecánica de Suelos". Bogotá: Universidad Nacional de Colombia.
7. Georges, A. (2004). "Compactación en carreteras y aeropuertos". Barcelona: Técnicos Asociados.
8. González, J. C. (2013). "Incidencia de Resultados del ensayo Proctor Modificado por la Influencia del Clima". México: UNAM.
9. López, W. (2011). "Compactación de Suelos". Disponible en slideshare: [enlace](#).
10. Parano, J. (2012). "Compactación de Suelos y Materiales Estabilizados". México: UNAM.
11. Pérez, J. (2014). "Introducción a la Mecánica de Suelos". La Coruña: Universidad de La Coruña.
12. Ruíz, C. (2005). "Mecanismo de Compactación de Suelos". Mar de Plata: EUBEDA.
13. Sagués, P. (2008). "Propiedades de los Suelos Compactados". Buenos Aires: LMS-FIUBA.

14. Creswell, J. W. (2014). *Research Design: Qualitative, Quantitative, and Mixed Methods Approaches*. Sage Publications.
15. Johnson, R. B. (2010). A Heuristic Framework for the Conduct of Thematic Analysis and Theory Building From Qualitative Case Study Research. *Journal of Business and Psychology*, 25(2), 179–186.
16. Patton, M. Q. (2015). *Qualitative Research & Evaluation Methods: Integrating Theory and Practice*. Sage Publications.
17. Robson, C. (2011). *Real World Research*. John Wiley & Sons.
18. Yin, R. K. (2018). *Case Study Research and Applications: Design and Methods*. Sage Publications.

## **ANEXOS**

1. Densidades y Puntos de Control

 CONSORCIO TERMINAL PASCO	PROYECTO	PT-QC-005-07
	FECHA	10/07/2023
	ESPECIFICACION	01
	OTRO	1 DE 1

Proyecto:	"CONSTRUCCIÓN DEL MODERNO TERMINAL TERRESTRE INTERPROVINCIAL DE LA CIUDAD DE CERRO DE PASCO"	N° Registro:	045
Cliente:	GOBIERNO REGIONAL DE PASCO	Fecha:	26/09/2023
Zona:		Plano de Referencia:	PE-A-01

Material:	pruosterno (sacropomilia)	Equipo empleado:	- Camo de demarcación - Speedy	Modelo/Marca:	Rummiston
-----------	---------------------------	------------------	-----------------------------------	---------------	-----------

DATOS						
NUMERO DE ENSAYO	1	2	3	4	5	
UBICACIÓN DEL ENSAYO	Est. Exp	Est. Emb. B	Est. Emb. B	Est. Exp	Est. Emb. B	
CAPA	8	8	8	8	8	
ESPESOR DE LA CAPA (m)	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	

DENSIDAD						
Fecha del ensayo		26/09/23	26/09/23	26/09/23	26/09/23	26/09/23
Peso del frasco + arena	g	7200	7190	7170	7190	7210
Peso del frasco + arena que queda	g	1480	1490	1520	1480	1540
Peso de arena empleada	g	5720	5700	5650	5710	5670
Peso de arena en el cono	g	1640	1640	1640	1640	1640
Peso de arena en la excavación	g	4080	4060	4010	4070	4030
Densidad de la arena	g/cm³	1.40	1.40	1.40	1.40	1.40
Volumen del material extraído	cm³	2914.3	2900.0	2864.3	2907.1	2878.6
Peso del recipiente + suelo + grava	g	7390	7380	7340	7410	7430
Peso del recipiente	g	420	420	420	420	420
Peso del suelo + grava	g	6970	6960	6920	6990	7010
Densidad húmeda in-situ	g/cm³	2.392	2.400	2.416	2.404	2.435
Densidad seca in-situ	g/cm³	2.311	2.312	2.325	2.319	2.324

CORRECCIÓN A LA DENSIDAD SECA Y CONTENIDO DE HUMEDAD POR PARTÍCULAS EXTRADIMENSIONADAS (ASTM D-4718)						
Peso específico del material extradimensionado (ASTM C-127)	g/cm³	2.62	2.62	2.62	2.62	2.62
Absorción del material extradimensionado (ASTM C-127)	%	1.29	1.29	1.29	1.29	1.29
Peso del material extradimensionado húmedo	gr	1420	1330	1320	1410	1380
Peso del material extradimensionado seco	gr	1401.4	1313.1	1303.2	1392.0	1362.4
Peso de material de fracción fina seca	gr	5331.4	5292.7	5358.9	5350.0	5372.1
Peso de la muestra extraída seca	gr	6733.7	6705.8	6662.0	6742.0	6734.6
% Material extradimensionado	%	20.8	19.6	19.6	20.6	20.2
% Material de fracción fina	%	79.2	80.4	80.4	79.4	79.8
Humedad de la muestra total	%	3.5	3.8	3.9	3.7	4.1
Humedad de la fracción fina	%	4.10	4.40	4.50	4.20	4.80
Densidad seca de la fracción fina	g/cm³	2.242	2.248	2.263	2.252	2.277

GRADO DE COMPACTACIÓN						
Máxima densidad seca (ASTM D-1557)	g/cm³	2.34	2.33	2.33	2.33	2.33
Óptimo contenido de humedad (ASTM D-1557)	%	5.95	5.95	5.95	5.95	5.95
Grado de compactación	%	95.94	96.41	97.05	96.45	97.57

CONSORCIO TERMINAL PASCO		GOBIERNO REGIONAL DE PASCO	
ING. RESIDENTE	ESPECIALISTA (QC)	ESPECIALISTA (QC)	SUPERVISION / INSPECTOR
NOMBRE:	NOMBRE:	NOMBRE:	NOMBRE:
CARGO:	CARGO:	CARGO:	CARGO:
FIRMA:	FIRMA:	FIRMA:	FIRMA:

CONSORCIO TERMINAL PASCO

Ing. APOLINARIO VILLANUEVA SEBASTIAN  
CIP: 63298  
RESIDENTE DE OBRA

Ing. SANDY YARANGA CARRERA  
AREA DE CALIDAD



Ing. Eric Miguel Chaves Ríos  
CIP: 185007  
SUPERVISOR DE OBRA

JD  
JD ARCHITECT COMPANY S.A.

PROYECTO	CONSTRUCCIÓN DEL MODERNO INTERPRETACIONAL DE LA CIUDAD INTERPRETACIONAL DE PASCO - PASCO - PASCO
PROYECTANTE	WILLIAM SAMUEL CHAVEZ LOPEZ C.A.P. 1897
UBICACION	CARRIO DE PASCO
DEPARTAMENTO	CHIMBORAZO
CANTON	PASCO
PARCELA	PASCO
ESPECIALIDAD	ARQUITECTURA
TITULO	PLANTEAMIENTO GENERAL
PROYECTO	PG-A-01
FECHA	MARZO 2018



AVENIDA INSURGENTES

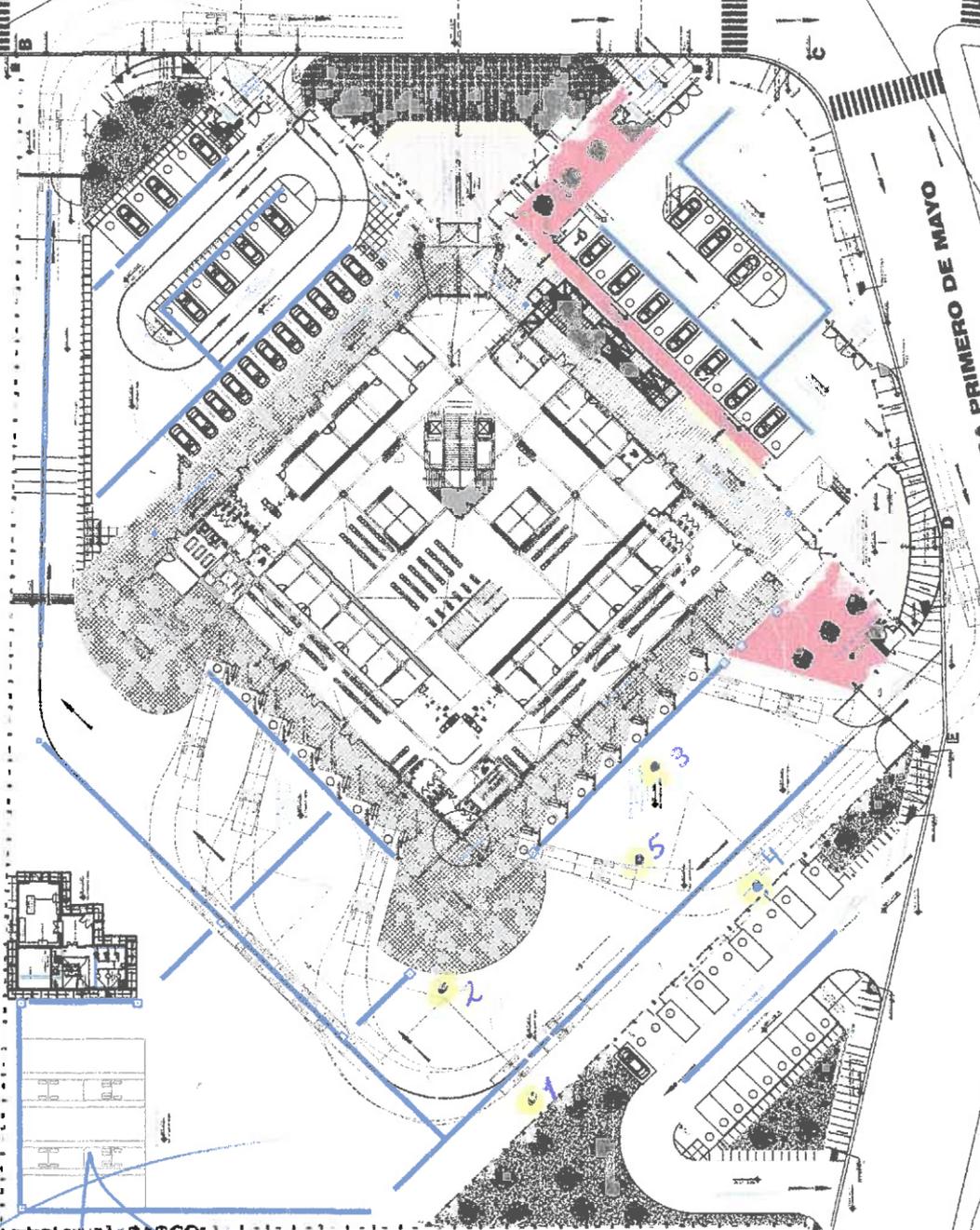
JR. SAN SEI

INSTITUCION EDUCATIVA INICIAL

AVENIDA PRIMERO DE MAYO

PLANTEAMIENTO GENERAL  
ESCALA 1:200

AREA



CONSORCIO TERMINAL PASCO

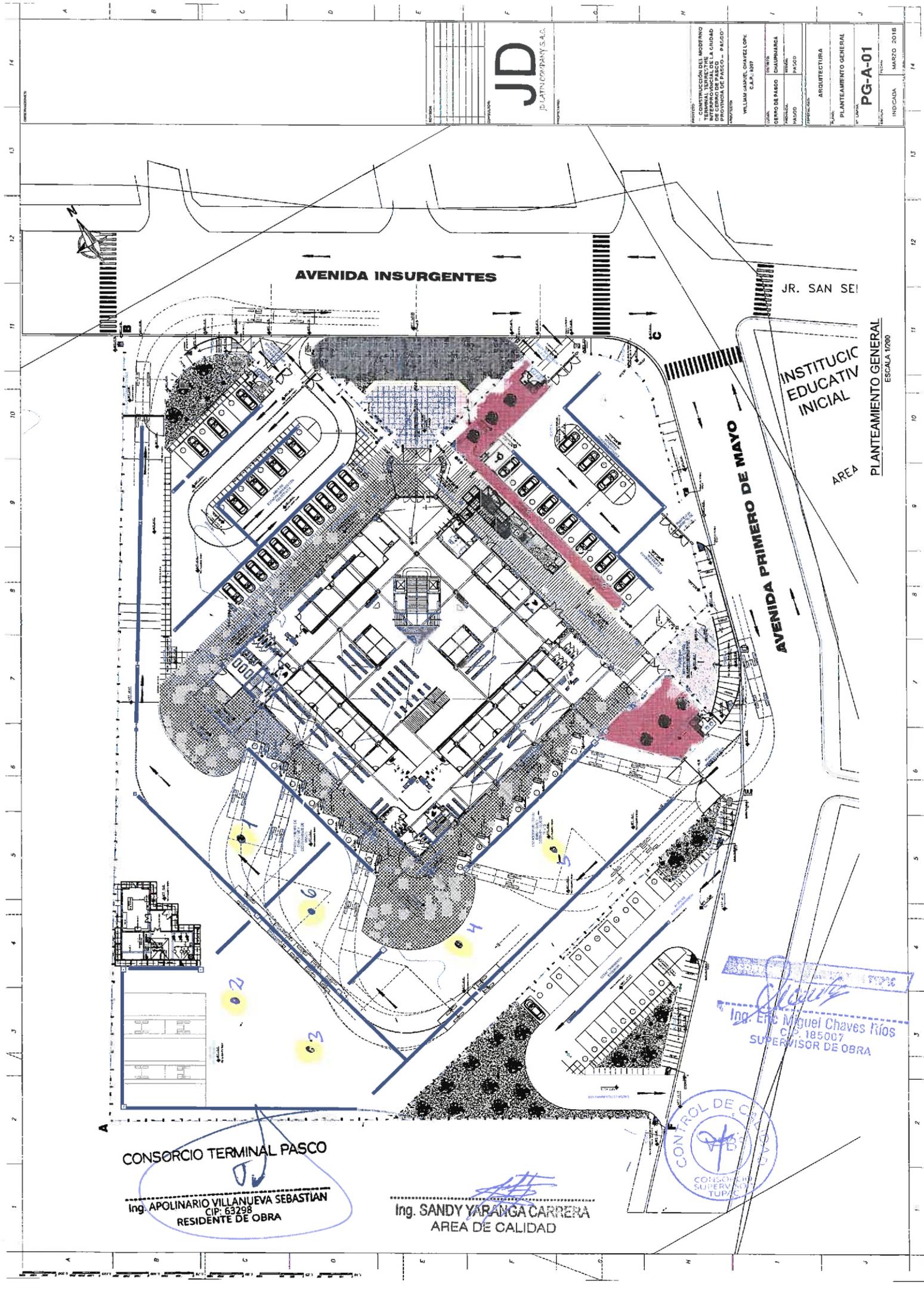
Ing. APOLINARIO VILLANUEVA SEBASTIAN  
CIP: 63298  
RESIDENTE DE OBRA

Ing. SANDY YARANGA CARRERA  
AREA DE CALIDAD



Ing. Eric Moya Guayas Nios  
CIP: 181007  
SUPERVISOR DE OBRA

 <p>CONSORCIO TERMINAL PASCO</p>	PROTECCIÓN					CÓDIGO	PT-QC-005-07
	ENSAYO DE DENSIDAD DE CAMPO					FECHA	10/07/2023
						VERSION	01
						PÁGINA	1 DE 1
Proyecto: "CONSTRUCCIÓN DEL MODERNO TERMINAL TERRESTRE INTERPROVINCIAL DE LA CIUDAD DE CERRO DE PASCO"						N° Registro: 044	
Cliente: GOBIERNO REGIONAL DE PASCO				Fecha: 16/09/2023		REVISION:0	
Zona: Estac. emb y de emb B., Lado sistema				Plano de Referencia: PG-A-01			
Material: Prústomo (sarcófama)		Equipo empleado: - Como de densidad - Speedy		Modelo/Marca: Rumiston			
<b>DATOS</b>							
NUMERO DE ENSAYO	1	2	3	4	5	6	
UBICACIÓN DEL ENSAYO	Est. Emb. B	Lado Cost.	Lado Cost.	Est. Emb. B	Est. Emb. B.	Est. Emb. B	
CAPA	5	5	5	5	5	5	
ESPESOR DE LA CAPA (m)	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	
<b>DENSIDAD</b>							
Fecha del ensayo	16/09/23	16/09/23	16/09/23	16/09/23	16/09/23	16/09/23	
Peso del frasco + arena	g 7200	7230	7200	7200	7200	7210	
Peso del frasco + arena que queda	g 1580	1550	1530	1560	1590	1560	
Peso de arena empleada	g 5620	5680	5670	5640	5610	5650	
Peso de arena en el cono	g 1640	1640	1640	1640	1640	1640	
Peso de arena en la excavación	g 3980	4040	4030	4000	3970	4010	
Densidad de la arena	g/cm³ 1.40	1.40	1.40	1.40	1.40	1.40	
Volumen del material extraído	cm³ 2842.9	2885.7	2878.6	2857.1	2835.7	2864.3	
Peso del recipiente + suelo + grava	g 7350	7380	7400	7430	7400	7490	
Peso del recipiente	g 420	420	420	420	420	420	
Peso del suelo + grava	g 6930	6960	6980	7010	6980	7070	
Densidad húmeda in-situ	g/cm³ 2.438	2.412	2.425	2.454	2.461	2.468	
Densidad seca in-situ	g/cm³ 2.330	2.310	2.327	2.352	2.358	2.362	
<b>CORRECCIÓN A LA DENSIDAD SECA Y CONTENIDO DE HUMEDAD POR PARTÍCULAS EXTRADIMENSIONADAS (ASTM D-4718)</b>							
Peso específico del material extradimensionado (ASTM C-127)	g/cm³ 2.62	2.62	2.62	2.62	2.62	2.62	
Absorción del material extradimensionado (ASTM C-127)	% 1.18	1.18	1.18	1.18	1.18	1.18	
Peso del material extradimensionado húmedo	gr 1340	1400	1430	1470	1410	1420	
Peso del material extradimensionado seco	gr 1324.4	1383.7	1413.3	1452.9	1393.6	1403.4	
Peso de material de fracción fina seca	gr 5303.0	5285.2	5285.7	5266.2	5289.6	5360.5	
Peso de la muestra extraída seca	gr 6628.0	6668.8	6699.0	6719.0	6683.2	6764.0	
% Material extradimensionado	% 20.0	20.7	21.1	21.6	20.9	20.7	
% Material de fracción fina	% 80.0	79.3	78.9	78.4	79.1	79.3	
Humedad de la muestra total	% 4.6	4.4	4.2	4.3	4.4	4.5	
Humedad de la fracción fina	% 5.400	5.200	5.000	5.200	5.300	5.400	
Densidad seca de la fracción fina	g/cm³ 2.267	2.241	2.259	2.288	2.297	2.303	
<b>GRADO DE COMPACTACIÓN</b>							
Máxima densidad seca (ASTM D-1557)	g/cm³ 2.27	2.27	2.27	2.27	2.27	2.27	
Óptimo contenido de humedad (ASTM D-1557)	% 5.70	5.70	5.70	5.70	5.70	5.70	
Grado de compactación	% 97.17	95.97	96.69	97.86	98.34	98.62	
CONSORCIO TERMINAL PASCO				GOBIERNO REGIONAL DE PASCO			
ING. RESIDENTE		ESPECIALISTA (QC)		ESPECIALISTA (QC)		SUPERVISION / INSPECTOR	
NOMBRE: <b>CONSORCIO TERMINAL PASCO</b>		NOMBRE: 		NOMBRE: 		NOMBRE: 	
CARGO: <b>Ing. APOLINARIO VILLANUEVA SEBASTIAN</b> CIP: 63298 <b>RESIDENTE DE OBRA</b>		CARGO: <b>Ing. SANDY YARANGA CARRERA</b> <b>AREA DE CALIDAD</b>		CARGO: <b>CONTROL DE CALIDAD</b> <b>CONSORCIO SUPERVISOR TUPAC</b>		CARGO: <b>Ing. Eric Miguel Chaves Ríos</b> CIP: 185007 <b>SUPERVISOR DE OBRA</b>	
FIRMA: 		FIRMA: 		FIRMA: 		FIRMA: 	



**JD**  
 PLATIN COMPANY S.A.S.  
 PROYECTO

PROYECTO: MODERNIZACIÓN DEL MODERNO TERMINAL TERRESTRE DE LA CIUDAD DE PASCO - PASCO - PASCO  
 PROYECTISTA: WILLIAM JAVIER CHAVEZ RIOS C.A.P. 185007  
 CLIENTE: GOBIERNO REGIONAL PASCO  
 TIPO DE OBRA: PLANTAMIENTO GENERAL  
 N.º DE PLANO: PG-A-01  
 INDICADA: MARZO 2018

**AVENIDA INSURGENTES**

JR. SAN SEBASTIAN

INSTITUCION EDUCATIVA INICIAL

**AVENIDA PRIMERO DE MAYO**

PLANTEAMIENTO GENERAL  
 ESCALA 1:2000

CONSORCIO TERMINAL PASCO

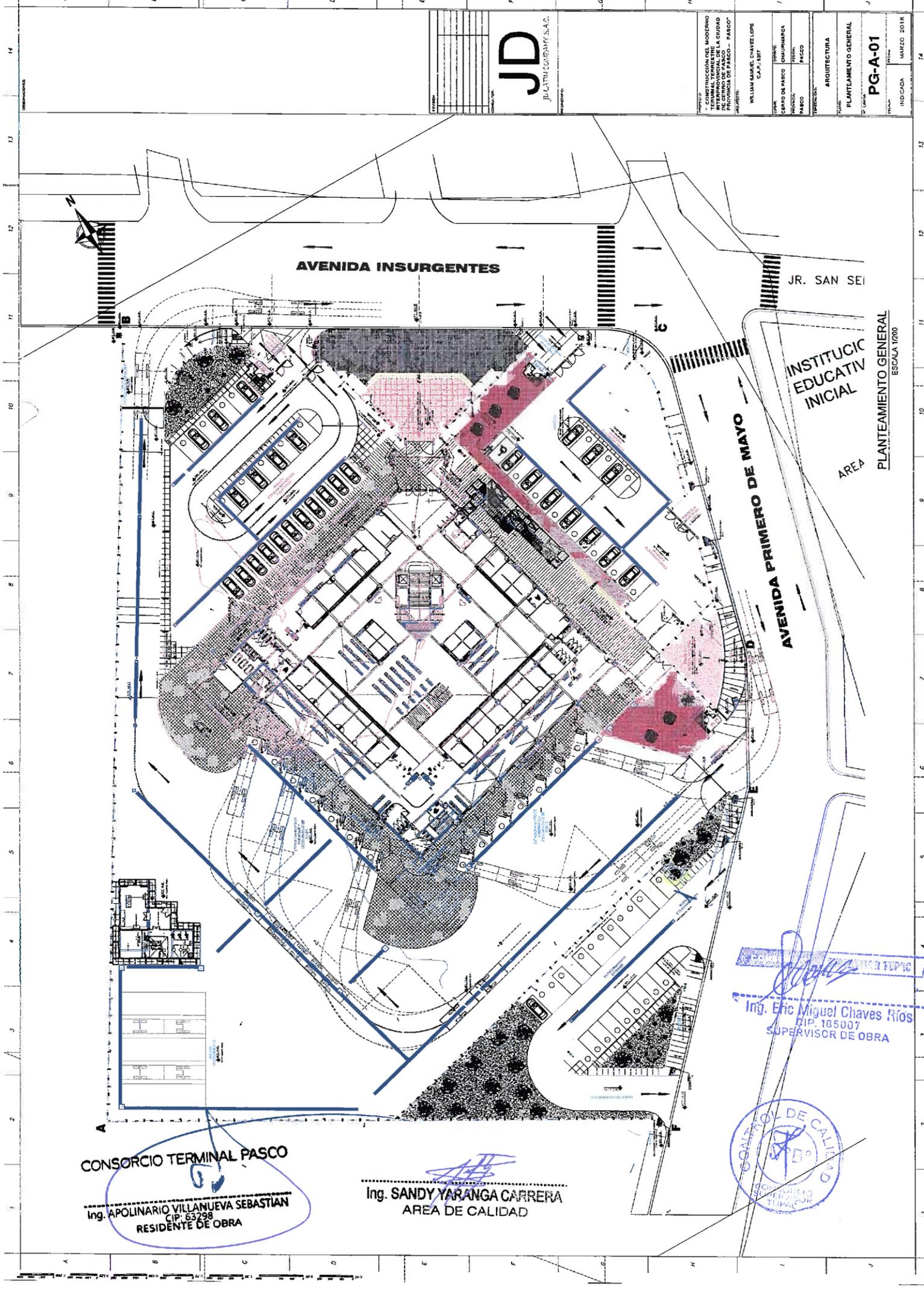
Ing. APOLINARIO VILLANUEVA SEBASTIAN  
 CIP: 63298  
 RESIDENTE DE OBRA

Ing. SANDY YARANGA CARRERA  
 AREA DE CALIDAD

Ing. Eric Miguel Chaves Rios  
 CIP: 185007  
 SUPERVISOR DE OBRA



	PROYECTO		FORMA	PT-QC-005-07
	ENSAYO DE DENSIDAD DE CAMPO		FECHA	10/07/2023
			VERSION	01
			PAGINA	1 DE 1
Proyecto: "CONSTRUCCIÓN DEL MODERNO TERMINAL TERRESTRE INTERPROVINCIAL DE LA CIUDAD DE CERRO DE PASCO"			N° Registro:	043
Cliente: GOBIERNO REGIONAL DE PASCO		Fecha: 15/09/2027	REVISION:0	
Zona: Estacionamiento exterior		Plano de Referencia: PG-A-01		
Material: préstamo (sacrafamilia)	Equipo empleado: - Como de densidad - Speedy	Modelo/Marca: Rumistoma		
<b>DATOS</b>				
NUMERO DE ENSAYO	1			
UBICACIÓN DEL ENSAYO	Est. Exter			
CAPA	7			
ESPESOR DE LA CAPA (m)	0.20			
<b>DENSIDAD</b>				
Fecha del ensayo	15/09/23			
Peso del frasco + arena	g	7200		
Peso del frasco + arena que queda	g	1580		
Peso de arena empleada	g	5620		
Peso de arena en el cono	g	1640		
Peso de arena en la excavación	g	3980		
Densidad de la arena	g/cm <sup>3</sup>	1.40		
Volumen del material extraído	cm <sup>3</sup>	2842.9		
Peso del recipiente + suelo + grava	g	7390		
Peso del recipiente	g	420		
Peso del suelo + grava	g	6970		
Densidad húmeda in-situ	g/cm <sup>3</sup>	2.452		
Densidad seca in-situ	g/cm <sup>3</sup>	2.328		
<b>CORRECCIÓN A LA DENSIDAD SECA Y CONTENIDO DE HUMEDAD POR PARTÍCULAS EXTRADIMENSIONADAS (ASTM D-4718)</b>				
Peso específico del material extradimensionado (ASTM C-127)	g/cm <sup>3</sup>	2.62		
Absorción del material extradimensionado (ASTM C-127)	%	1.13		
Peso del material extradimensionado húmedo	gr	1400		
Peso del material extradimensionado seco	gr	1384.4		
Peso de material de fracción fina seca	gr	5235.0		
Peso de la muestra extraída seca	gr	6619.3		
% Material extradimensionado	%	20.9		
% Material de fracción fina	%	79.1		
Humedad de la muestra total	%	5.3		
Humedad de la fracción fina	%	6.400		
Densidad seca de la fracción fina	g/cm <sup>3</sup>	2.261		
<b>GRADO DE COMPACTACIÓN</b>				
Máxima densidad seca (ASTM D-1557)	g/cm <sup>3</sup>	2.28		
Óptimo contenido de humedad (ASTM D-1557)	%	6.30		
Grado de compactación	%	96.46		
CONSORCIO TERMINAL PASCO		GOBIERNO REGIONAL DE PASCO		
ING. RESIDENTE	ESPECIALISTA (QC)	ESPECIALISTA (QC)	SUPERVISION / INSPECTOR	
NOMBRE: CONSORCIO TERMINAL PASCO	NOMBRE: 	NOMBRE: 	NOMBRE: 	
CARGO: Ing. APOLINARIO VILLANUEVA SEBASTIAN CIP: 63298 RESIDENTE DE OBRA	CARGO: Ing. SANDY YARANCA CARREÓN AREA DE CALIDAD	CARGO:	CARGO: Ing. Eric Miguel Chaves Ríos CIP: 185007 SUPERVISOR DE OBRA	
FIRMA:	FIRMA:	FIRMA:	FIRMA:	



**JD**

JL LATIN COMPANY S.A.S.

PROYECTO:	CONSTRUCCIÓN DEL MODERNO INTERCOMUNAL DE LA CIUDAD INTERNACIONAL DE PASCO - PASCO - PROVINCIA DE PASCO
PROYECTANTE:	WILLIAM BLANKE CHAVELORE S.A.S. I.B.T.
TIPO DE OBRA:	COMUNICACION
UBICACION:	CERRO DE PASCO
FECHA:	PASCO
PROYECTISTA:	ARCHITECTURA
TIPO DE PLANO:	PLANTEAMIENTO GENERAL
NO. DE PLAN:	PG-A-01
INDICADA:	MARZO 2018

**AVENIDA INSURGENTES**

JR. SAN SEI

**INSTITUCION EDUCATIVA INICIAL**

AREA

**AVENIDA PRIMERO DE MAYO**

PLANTEAMIENTO GENERAL  
ESCALA 1:200

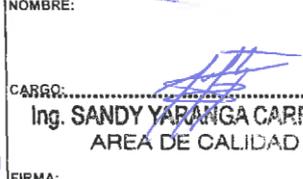
**CONSORCIO TERMINAL PASCO**

Ing. APOLINARIO VILLANUEVA SEBASTIAN  
CIP: 63298  
RESIDENTE DE OBRA

Ing. SANDY YARANGA CARRERA  
AREA DE CALIDAD

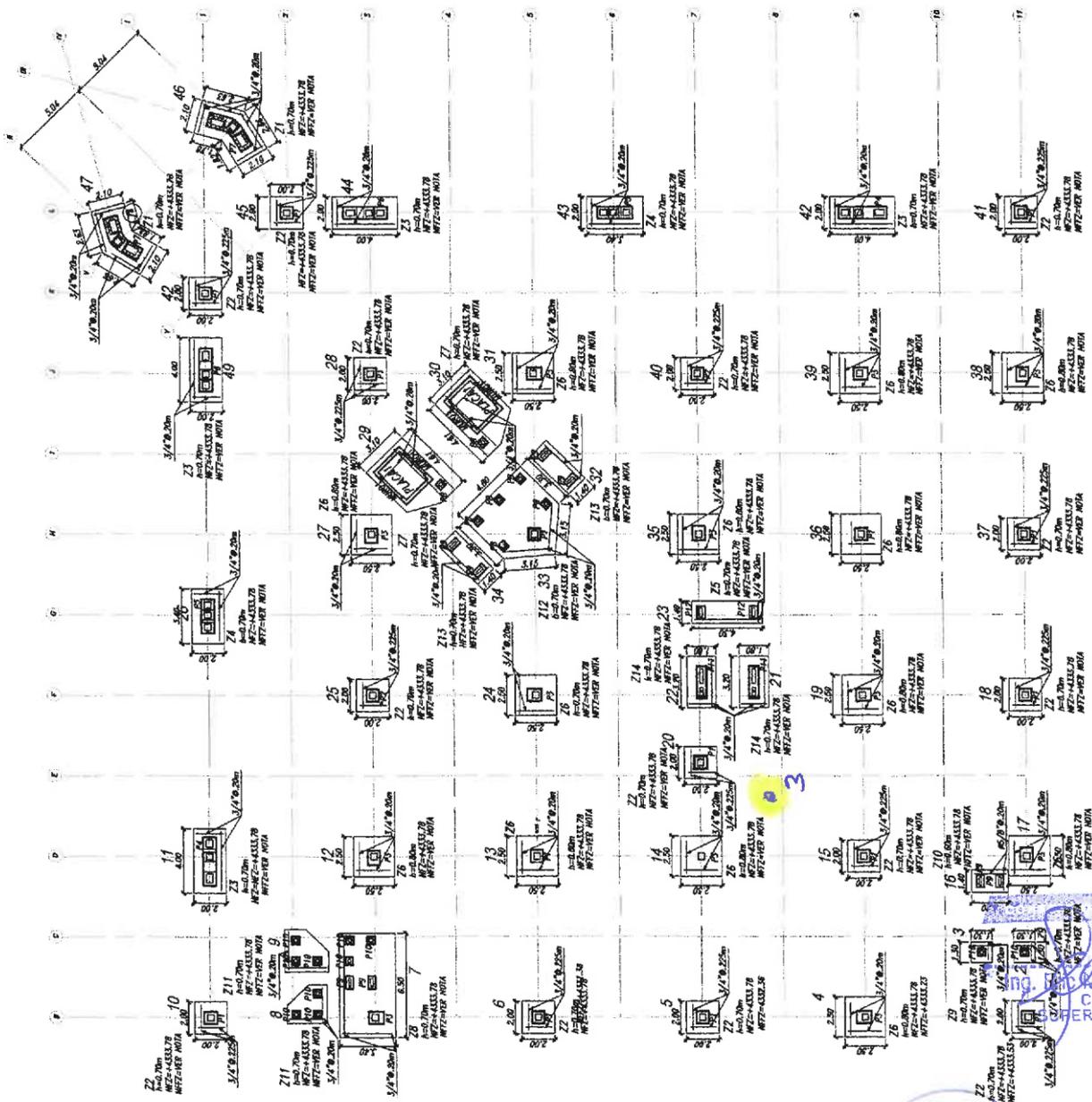
Ing. ERIC MIGUEL CHAVES RÍOS  
CIP: 185007  
SUPERVISOR DE OBRA



	PROYECTO					EQUIPO:		PT-QC-005-07
	ENSAYO DE DENSIDAD DE CAMPO					FECHA:		10/07/2023
						VERSION:		01
						PAGINA:		1 DE 1
Proyecto: "CONSTRUCCIÓN DEL MODERNO TERMINAL TERRESTRE INTERPROVINCIAL DE LA CIUDAD DE CERRO DE PASCO"						N° Registro: 042		
Cliente: GOBIERNO REGIONAL DE PASCO				Fecha: 15/09/2023		REVISION:0		
Zona: Estac. Emb y desemb. Buena, (D-E)(7-9), Est. Ext				Plano de Referencia: PG-A-01/E-02				
Material: <i>Prisolamo (Saurafamilia)</i>		Equipo empleado: <i>- Como de demeridad - 5 predy</i>			Modelo/Marca: <i>Rumintame</i>			
DATOS								
NUMERO DE ENSAYO	1	2	3	4	5	6		
UBICACIÓN DEL ENSAYO	<i>Est Emb B</i>	<i>Est Emb B</i>	<i>(D-E)(7-9)</i>	<i>Est Ext</i>	<i>Est Ext</i>	<i>Est Ext</i>		
CAPA	7	7	10	7	7	7		
ESPESOR DE LA CAPA (m)	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20		
DENSIDAD								
Fecha del ensayo		15/09/23	15/09/23	15/09/23	15/09/23	15/09/23	15/09/23	
Peso del frasco + arena	g	7200	7200	7190	7210	7190	7200	
Peso del frasco + arena que queda	g	1570	1550	1490	1530	1580	1590	
Peso de arena empleada	g	5630	5650	5700	5680	5610	5610	
Peso de arena en el cono	g	1640	1640	1640	1640	1640	1640	
Peso de arena en la excavación	g	3990	4010	4060	4040	3970	3970	
Densidad de la arena	g/cm <sup>3</sup>	1.40	1.40	1.40	1.40	1.40	1.40	
Volumen del material extraído	cm <sup>3</sup>	2850.0	2864.3	2900.0	2885.7	2835.7	2835.7	
Peso del recipiente + suelo + grava	g	7420	7410	7430	7400	7390	7460	
Peso del recipiente	g	420	420	420	420	420	420	
Peso del suelo + grava	g	7000	6990	7010	6980	6970	7040	
Densidad húmeda in-situ	g/cm <sup>3</sup>	2.456	2.440	2.417	2.419	2.458	2.483	
Densidad seca in-situ	g/cm <sup>3</sup>	2.350	2.338	2.307	2.321	2.357	2.373	
CORRECCIÓN A LA DENSIDAD SECA Y CONTENIDO DE HUMEDAD POR PARTÍCULAS EXTRADIMENSIONADAS (ASTM D-4718)								
Peso específico del material extradimensionado (ASTM C-127)	g/cm <sup>3</sup>	2.62	2.62	2.62	2.62	2.62	2.62	
Absorción del material extradimensionado (ASTM C-127)	%	1.13	1.13	1.13	1.13	1.13	1.13	
Peso del material extradimensionado húmedo	gr	1420	1340	1090	1300	1440	1470	
Peso del material extradimensionado seco	gr	1404.1	1325.0	1077.8	1285.5	1423.9	1453.6	
Peso de material de fracción fina seca	gr	5294.1	5370.7	5611.4	5414.7	5256.7	5279.6	
Peso de la muestra extraída seca	gr	6698.3	6695.7	6689.2	6700.2	6680.6	6733.2	
% Material extradimensionado	%	21.0	19.8	16.1	19.2	21.3	21.6	
% Material de fracción fina	%	79.0	80.2	83.9	80.8	78.7	78.4	
Humedad de la muestra total	%	4.5	4.4	4.8	4.2	4.3	4.6	
Humedad de la fracción fina	%	5.400	5.200	5.500	4.900	5.200	5.500	
Densidad seca de la fracción fina	g/cm <sup>3</sup>	2.287	2.277	2.255	2.260	2.295	2.313	
GRADO DE COMPACTACIÓN								
Máxima densidad seca (ASTM D-1557)	g/cm <sup>3</sup>	2.28	2.28	2.28	2.28	2.28	2.28	
Óptimo contenido de humedad (ASTM D-1557)	%	6.30	6.30	6.30	6.30	6.30	6.30	
Grado de compactación	%	97.56	97.29	96.82	96.64	97.86	98.59	
		14	14	14	14	14	14	
CONSORCIO TERMINAL PASCO				GOBIERNO REGIONAL DE PASCO				
ING. RESIDENTE		ESPECIALISTA (QC)		ESPECIALISTA (QC)		SUPERVISION / INSPECTOR		
NOMBRE:		NOMBRE:		NOMBRE:		NOMBRE:		
CARGO:		CARGO:		CARGO:		CARGO:		
FIRMA:		FIRMA:		FIRMA:		FIRMA:		
 <p>Ing. APOLINARIO VILLANUEVA SEBASTIAN CIP: 63298 RESIDENTE DE OBRA</p>		 <p>Ing. SANDY YARANGA CARRERA AREA DE CALIDAD</p>		 <p>Ing. Eric Miguel Chaves Tico CIP: 195007 SUPERVISOR DE OBRA</p>				



PLANO DE REFERENCIA	
LAMINA	ESPECIALIDAD:
E-02	ESTRUCTURAS
	PLANO:
	CIMENTACION



CONSORCIO TERMINAL PASCO

Ing. APOLINARIO VILLANUEVA SEBASTIAN  
CIP: 63298  
RESIDENTE DE OBRA

Ing. SANDY YARANGA CARRERA  
AREA DE CALIDAD



Ing. Miguel Chaves Rio  
CIP: 85007  
SUPERVISOR DE OBRA

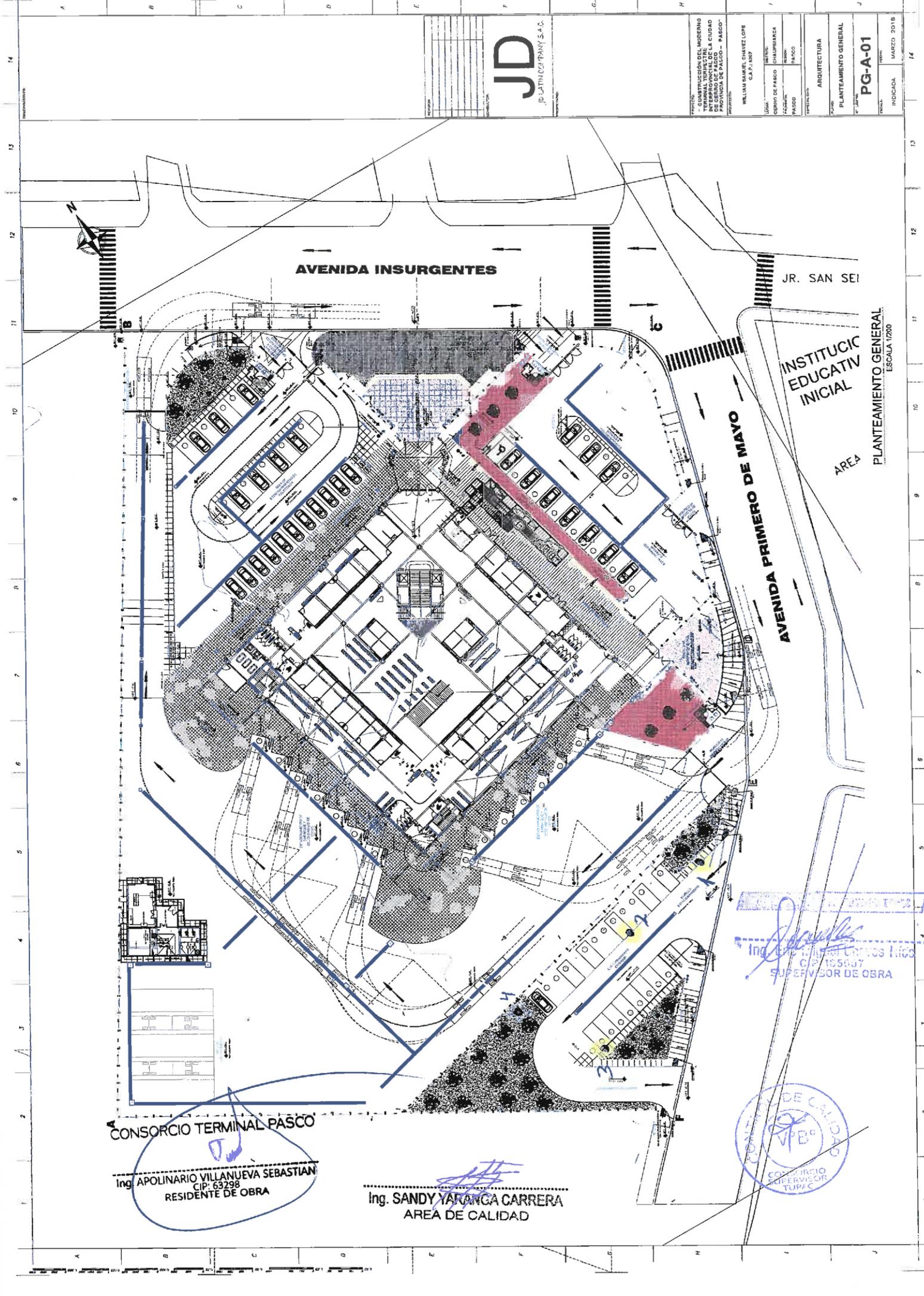
	INSTITUCIÓN: <b>CONSORCIO TERMINAL PASCO</b>				CODIGO: PT-QC-005-07
	ENSAYO DE DENSIDAD DE CAMPO				FECHA: 10/07/2023
	Proyecto: "CONSTRUCCIÓN DEL MODERNO TERMINAL TERRESTRE INTERPROVINCIAL DE LA CIUDAD DE CERRO DE PASCO"				VERSION: 01
	Cliente: GOBIERNO REGIONAL DE PASCO				FECHA: 13/09/2023
Zona: Estacionamiento exterior				Plano de Referencia: PG-A-01	N° Registro: 041
Material: <b>Préstamo (Sacrafamilia)</b>		Equipo empleado: <b>-Cemento de calidad -Speedy</b>		Modelo/Marca: <b>Rumintomo</b>	
<b>DATOS</b>					
NUMERO DE ENSAYO	1	2	3	4	
UBICACIÓN DEL ENSAYO	Est. Ext.	Est. Ext.	Est. Ext.	Est. Ext.	
CAPA	6	6	6	6	
ESPESOR DE LA CAPA (m)	0.20	0.20	0.20	0.20	
<b>DENSIDAD</b>					
Fecha del ensayo	13/09/23	13/09/23	13/09/23	13/09/23	
Peso del frasco + arena	g 7200	g 7200	g 7200	g 7200	
Peso del frasco + arena que queda	g 1520	g 1540	g 1550	g 1530	
Peso de arena empleada	g 5680	g 5660	g 5650	g 5670	
Peso de arena en el cono	g 1640	g 1640	g 1640	g 1640	
Peso de arena en la excavación	g 4040	g 4020	g 4010	g 4030	
Densidad de la arena	g/cm³ 1.40	g/cm³ 1.40	g/cm³ 1.40	g/cm³ 1.40	
Volumen del material extraído	cm³ 2885.7	cm³ 2871.4	cm³ 2864.3	cm³ 2878.6	
Peso del recipiente + suelo + grava	g 7390	g 7350	g 7360	g 7420	
Peso del recipiente	g 420	g 420	g 420	g 420	
Peso del suelo + grava	g 6970	g 6930	g 6940	g 7000	
Densidad húmeda in-situ	g/cm³ 2.415	g/cm³ 2.413	g/cm³ 2.423	g/cm³ 2.432	
Densidad seca in-situ	g/cm³ 2.307	g/cm³ 2.303	g/cm³ 2.308	g/cm³ 2.314	
<b>CORRECCIÓN A LA DENSIDAD SECA Y CONTENIDO DE HUMEDAD POR PARTÍCULAS EXTRADIMENSIONADAS (ASTM D-4718)</b>					
Peso específico del material extradimensionado (ASTM C-127)	g/cm³ 2.62	g/cm³ 2.62	g/cm³ 2.62	g/cm³ 2.62	
Absorción del material extradimensionado (ASTM C-127)	% 1.32	% 1.32	% 1.32	% 1.32	
Peso del material extradimensionado húmedo	gr 1480	gr 1440	gr 1370	gr 1410	
Peso del material extradimensionado seco	gr 1460.7	gr 1421.2	gr 1352.2	gr 1391.6	
Peso de material de fracción fina seca	gr 5198.9	gr 5189.0	gr 5259.7	gr 5268.6	
Peso de la muestra extraída seca	gr 6659.6	gr 6610.3	gr 6611.8	gr 6660.2	
% Material extradimensionado	% 21.9	% 21.5	% 20.5	% 20.9	
% Material de fracción fina	% 78.1	% 78.5	% 79.5	% 79.1	
Humedad de la muestra total	% 4.7	% 4.8	% 5.0	% 5.1	
Humedad de la fracción fina	% 5.600	% 5.800	% 5.900	% 6.100	
Densidad seca de la fracción fina	g/cm³ 2.232	g/cm³ 2.229	g/cm³ 2.239	g/cm³ 2.245	
<b>GRADO DE COMPACTACIÓN</b>					
Máxima densidad seca (ASTM D-1557)	g/cm³ 2.27	g/cm³ 2.27	g/cm³ 2.27	g/cm³ 2.27	
Óptimo contenido de humedad (ASTM D-1557)	% 5.30	% 5.80	% 5.80	% 5.80	
Grado de compactación	% 95.63	% 95.55	% 96.11	% 96.32	
	13	13	13	13	
<b>CONSORCIO TERMINAL PASCO</b>			<b>GOBIERNO REGIONAL DE PASCO</b>		
<b>ING. RESIDENTE</b>		<b>ESPECIALISTA (QC)</b>		<b>ESPECIALISTA (QC)</b>	
<b>SUPERVISION / INSPECTOR</b>					
NOMBRE:	NOMBRE:	NOMBRE:	NOMBRE:	NOMBRE:	NOMBRE:
CARGO:	CARGO:	CARGO:	CARGO:	CARGO:	CARGO:
FIRMA:	FIRMA:	FIRMA:	FIRMA:	FIRMA:	FIRMA:

**CONSORCIO TERMINAL PASCO**  
 CARGO: **RESIDENTE DE OBRA**  
 Ing. APOLINARIO VILLANUEVA SEBASTIAN  
 CIP: 63298

CARGO: **ESPECIALISTA (QC)**  
 Ing. SANDY YARANGA CARRERA  
 AREA DE CALIDAD



**GOBIERNO REGIONAL DE PASCO**  
 CARGO: **SUPERVISOR DE OBRA**  
 Ing. Eric Miguel Chaves Ríos  
 CIP: 185007



**JD**  
 J.P. LATINCO PARRY S.A.C.

PROYECTO	INSTITUCION EDUCATIVA INICIAL
CLIENTE	CONSORCIO TERMINAL PASCO
UBICACION	DEPARTAMENTO DE PASCO - PROVINCIA DE PASCO - PASCO
PROYECTISTA	WILLIAM SANKEL CHAVEZ LOPE C.A.P. 11507
LOCALIDAD	PASCO
REGION	CHALUMBARCA
FECHA	19/03/2018
ESCALA	1:1000
TITULO	PLANTEAMIENTO GENERAL
INDICADA	PG-A-01
FECHA	MARZO 2018

**AVENIDA INSURGENTES**

JR. SAN SEI

**INSTITUCION EDUCATIVA INICIAL**

AREA

**AVENIDA PRIMERO DE MAYO**

PLANTEAMIENTO GENERAL  
 ESCALA: 1/2000

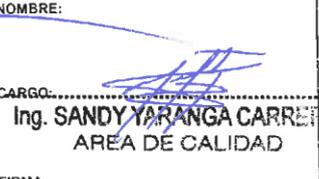
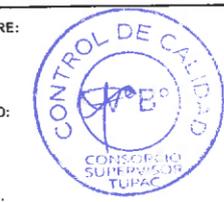
CONSORCIO TERMINAL PASCO

Ing. APOLINARIO VILLANUEVA SEBASTIAN  
 CIP: 63298  
 RESIDENTE DE OBRA

Ing. SANDY YARANCA CARRERA  
 AREA DE CALIDAD

Ing. SANDY YARANCA CARRERA  
 CIP: 105807  
 SUPERVISOR DE OBRA



	PROTOCOLOS		CODIGO	PT-QC-005-07
	ENSAYO DE DENSIDAD DE CAMPO		FECHA	10/07/2023
			VERSION	01
			PAGINAS	1 DE 1
Proyecto:	"CONSTRUCCIÓN DEL MODERNO TERMINAL TERRESTRE INTERPROVINCIAL DE LA CIUDAD DE CERRO DE PASCO"			N° Registro: 040
Cliente:	GOBIERNO REGIONAL DE PASCO		Fecha:	12/09/2023
Zona:	Ejes (D-E)(5-7), (I-J)(5-7), (H-I)(9-11)		Plano de Referencia:	E-02
Material:	Equipo empleado:	Modelo/Marca:		
Prístamo (Socofamilia)	- Como de densidad - Spedy	Rumintomo		
<b>DATOS</b>				
NUMERO DE ENSAYO	1	2	3	
UBICACIÓN DEL ENSAYO	(D-E)(5-7)	(I-J)(5-7)	(H-I)(9-11)	
CAPA	9	9	10	
ESPESOR DE LA CAPA (m)	0.20	0.20	0.20	
<b>DENSIDAD</b>				
Fecha del ensayo	12/09/23	12/09/23	12/09/23	
Peso del frasco + arena	g 7210	7200	7200	
Peso del frasco + arena que queda	g 1520	1410	1570	
Peso de arena empleada	g 5690	5790	5630	
Peso de arena en el cono	g 1640	1640	1640	
Peso de arena en la excavación	g 4050	4150	3990	
Densidad de la arena	g/cm³ 1.40	1.40	1.40	
Volumen del material extraído	cm³ 2892.9	2964.3	2850.0	
Peso del recipiente + suelo + grava	g 7410	7410	7410	
Peso del recipiente	g 420	420	420	
Peso del suelo + grava	g 6990	6990	6990	
Densidad húmeda in-situ	g/cm³ 2.416	2.358	2.453	
Densidad seca in-situ	g/cm³ 2.319	2.283	2.340	
<b>CORRECCIÓN A LA DENSIDAD SECA Y CONTENIDO DE HUMEDAD POR PARTÍCULAS EXTRADIMENSIONADAS (ASTM D-4718)</b>				
Peso específico del material extradimensionado (ASTM C-127)	g/cm³ 2.62	2.62	2.62	
Absorción del material extradimensionado (ASTM C-127)	% 1.32	1.32	1.32	
Peso del material extradimensionado húmedo	gr 1360	1340	1270	
Peso del material extradimensionado seco	gr 1342.3	1322.5	1253.5	
Peso de material de fracción fina seca	gr 5367.0	5443.2	5416.7	
Peso de la muestra extraída seca	gr 6709.3	6765.7	6670.1	
% Material extradimensionado	% 20.0	19.5	18.8	
% Material de fracción fina	% 80.0	80.5	81.2	
Humedad de la muestra total	% 4.2	3.3	4.8	
Humedad de la fracción fina	% 4.00	3.800	5.600	
Densidad seca de la fracción fina	g/cm³ 2.254	2.214	2.283	
<b>GRADO DE COMPACTACIÓN</b>				
Máxima densidad seca (ASTM D-1557)	g/cm³ 2.27	2.27	2.27	
Óptimo contenido de humedad (ASTM D-1557)	% 5.80	5.80	5.80	
Grado de compactación	% 96.82	95.17	98.23	
	13	13	13	
CONSORCIO TERMINAL PASCO		GOBIERNO REGIONAL DE PASCO		
ING. RESIDENTE	ESPECIALISTA (QC)	ESPECIALISTA (QC)	SUPERVISION / INSPECTOR	
NOMBRE:	NOMBRE:	NOMBRE:	NOMBRE:	
CARGO:	CARGO:	CARGO:	CARGO:	
FIRMA:	FIRMA:	FIRMA:	FIRMA:	
 CONSORCIO TERMINAL PASCO Ing. APOLINARIO VILLANUEVA SEBASTIAN CIP: 63298 RESIDENTE DE OBRA	 Ing. SANDY YARANGA CARREÑA AREA DE CALIDAD	 CONTROL DE CALIDAD CONSORCIO SUPERVISOR TUPAC	 CONSORCIO TUPAC SUPERVISOR TUPAC Ing. Eric Miguel Chaves Ríos CIP: 185007 SUPERVISOR DE OBRA	

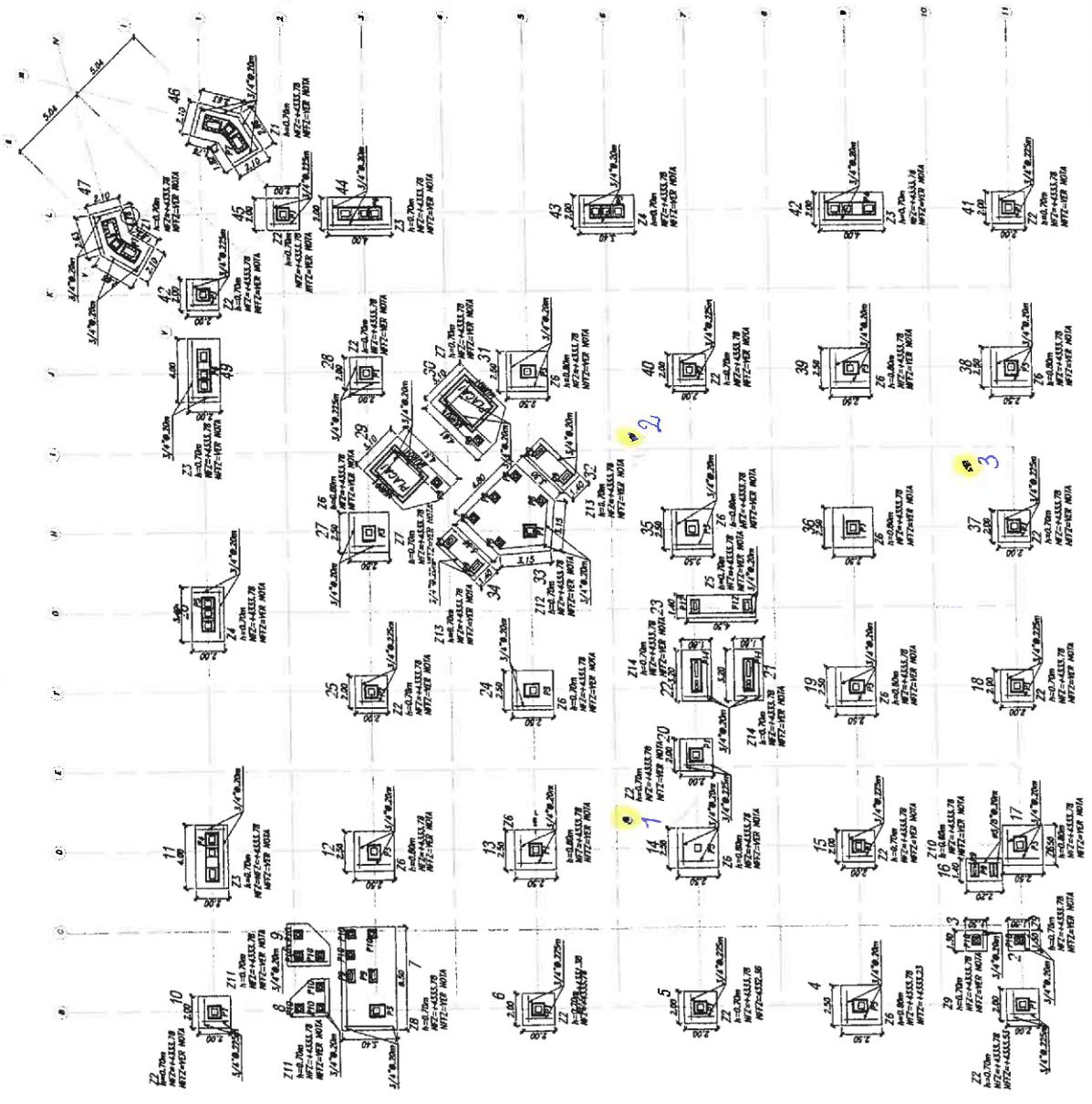


Ing. SANDY YANAGA CARRERA  
AREA DE CALIDAD

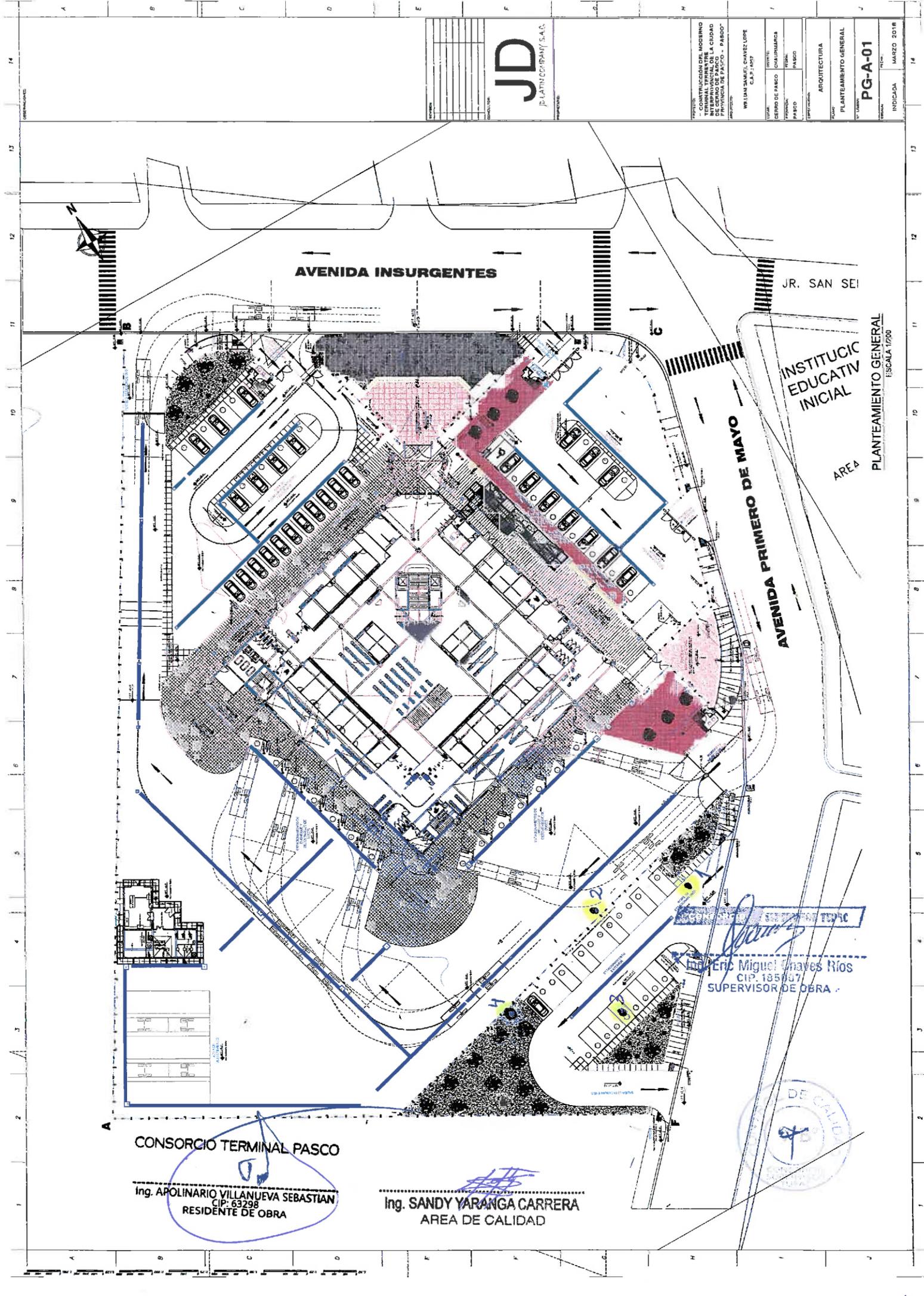
CONSORCIO TERMINAL PASCO  
Ing. APOLINARIO VILLANUEVA SEBASTIAN  
CIP: 63298  
RESIDENTE DE OBRA

CONSORCIO SUPERVISOR TOPIC  
Ing. Eric Miguel Chaves Hios  
CIP: 185007  
SUPERVISOR DE OBRA

LAMINA E-02	PLANO DE REFERENCIA
	ESPECIALIDAD: ESTRUCTURAS
	PLANO: CIMENTACION



	PROTOCOLO				codigo:	PT-QC-005-07
	ENSAYO DE DENSIDAD DE CAMPO				FECHA:	10/07/2023
					VERSION:	01
					PAGINA:	1 DE 1
Proyecto: "CONSTRUCCIÓN DEL MODERNO TERMINAL TERRESTRE INTERPROVINCIAL DE LA CIUDAD DE CERRO DE PASCO"					N° Registro:	039
Cliente: GOBIERNO REGIONAL DE PASCO				Fecha: 11/09/2023	REVISION:0	
Zona: Estaciónamiento exterior				Plano de Referencia: PG-A-01		
Material:	Equipo empleado:			Modelo/Marca:		
Préstamo (Socofamilias)	- Cono de densidad - Speedy			Rumintam		
DATOS						
NUMERO DE ENSAYO	1	2	3	4		
UBICACIÓN DEL ENSAYO	Est. Ext	Est. Ext	Est. Extern	Est. Exter		
CAPA	5	5	5	5		
ESPESOR DE LA CAPA (m)	0.20	0.20	0.20	0.20		
DENSIDAD						
Fecha del ensayo	11/09/23	11/09/23	11/09/23	11/09/23		
Peso del frasco + arena	g 7230	g 7210	g 7210	g 7200		
Peso del frasco + arena que queda	g 1560	g 1550	g 1450	g 1500		
Peso de arena empleada	g 5670	g 5660	g 5760	g 5700		
Peso de arena en el cono	g 1640	g 1640	g 1640	g 1640		
Peso de arena en la excavación	g 4030	g 4020	g 4120	g 4060		
Densidad de la arena	g/cm³ 1.40	g/cm³ 1.40	g/cm³ 1.40	g/cm³ 1.40		
Volumen del material extraído	cm³ 2878.6	cm³ 2871.4	cm³ 2942.9	cm³ 2900.0		
Peso del recipiente + suelo + grava	g 7430	g 7390	g 7420	g 7400		
Peso del recipiente	g 420	g 420	g 420	g 420		
Peso del suelo + grava	g 7010	g 6970	g 7000	g 6980		
Densidad húmeda in-situ	g/cm³ 2.435	g/cm³ 2.427	g/cm³ 2.379	g/cm³ 2.407		
Densidad seca in-situ	g/cm³ 2.330	g/cm³ 2.321	g/cm³ 2.278	g/cm³ 2.297		
CORRECCIÓN A LA DENSIDAD SECA Y CONTENIDO DE HUMEDAD POR PARTÍCULAS EXTRADIMENSIONADAS (ASTM D-4718)						
Peso específico del material extradimensionado (ASTM C-127)	g/cm³ 2.61	g/cm³ 2.61	g/cm³ 2.61	g/cm³ 2.61		
Absorción del material extradimensionado (ASTM C-127)	% 1.44	% 1.44	% 1.44	% 1.44		
Peso del material extradimensionado húmedo	gr 1340	gr 1310	gr 1030	gr 1090		
Peso del material extradimensionado seco	gr 1321.0	gr 1291.4	gr 1015.4	gr 1074.5		
Peso de material de fracción fina seca	gr 5384.6	gr 5370.0	gr 5691.1	gr 5582.9		
Peso de la muestra extraída seca	gr 6705.6	gr 6661.4	gr 6706.5	gr 6657.5		
% Material extradimensionado	% 19.7	% 19.4	% 15.1	% 16.1		
% Material de fracción fina	% 80.3	% 80.6	% 84.9	% 83.9		
Humedad de la muestra total	% 4.5	% 4.6	% 4.4	% 4.8		
Humedad de la fracción fina	% 5.300	% 5.400	% 4.900	% 5.500		
Densidad seca de la fracción fina	g/cm³ 2.270	g/cm³ 2.261	g/cm³ 2.228	g/cm³ 2.245		
GRADO DE COMPACTACIÓN						
Máxima densidad seca (ASTM D-1557)	g/cm³ 2.25	g/cm³ 2.25	g/cm³ 2.25	g/cm³ 2.25		
Óptimo contenido de humedad (ASTM D-1557)	% 5.80	% 5.80	% 5.20	% 5.80		
Grado de compactación	% 98.27	% 97.92	% 97.09	% 97.69		
CONSORCIO TERMINAL PASCO				GOBIERNO REGIONAL DE PASCO		
ING. RESIDENTE		ESPECIALISTA (QC)		ESPECIALISTA (QC)		SUPERVISION / INSPECTOR
NOMBRE:		NOMBRE:		NOMBRE:		NOMBRE:
CARGO:		CARGO:		CARGO:		CARGO:
Ing. APOLINARIO VILLANUEVA SEBASTIAN CIP: 63298 RESIDENTE DE OBRA		Ing. SANDY YARANGA CARRERA AREA DE CALIDAD				 Ing. Eric Miguel Chaves Ríos CIP: 155067 SUPERVISOR DE OBRA
FIRMA:		FIRMA:		FIRMA:		FIRMA:



**JD**

PLANNING S.A.S.

PROYECTO: INSTITUCIÓN DE MODERNO TERMINAL TERRESTRE LA CIUDAD DEL CENTRO DE PASCO - PABDO

ARQUITECTO: WILSON SANCHEZ CHAVEZ USPE C.A.P. 1807

UBICACIÓN: CENTRO DE PASCO - CALIQUILANZA PASCO

ESPECIFICACION: ARQUITECTURA PLANTEAMIENTO GENERAL

**PG-A-01**

INDICADA: MARZO 2018

**AVENIDA INSURGENTES**

JR. SAN SEB

INSTITUCION EDUCATIVA INICIAL

AREA

**AVENIDA PRIMERO DE MAYO**

PLANTEAMIENTO GENERAL  
ESCALA 1/200

CONSORCIO TERMINAL PASCO

Ing. APOLINARIO VILLANUEVA SEBASTIAN  
CIP: 63298  
RESIDENTE DE OBRA

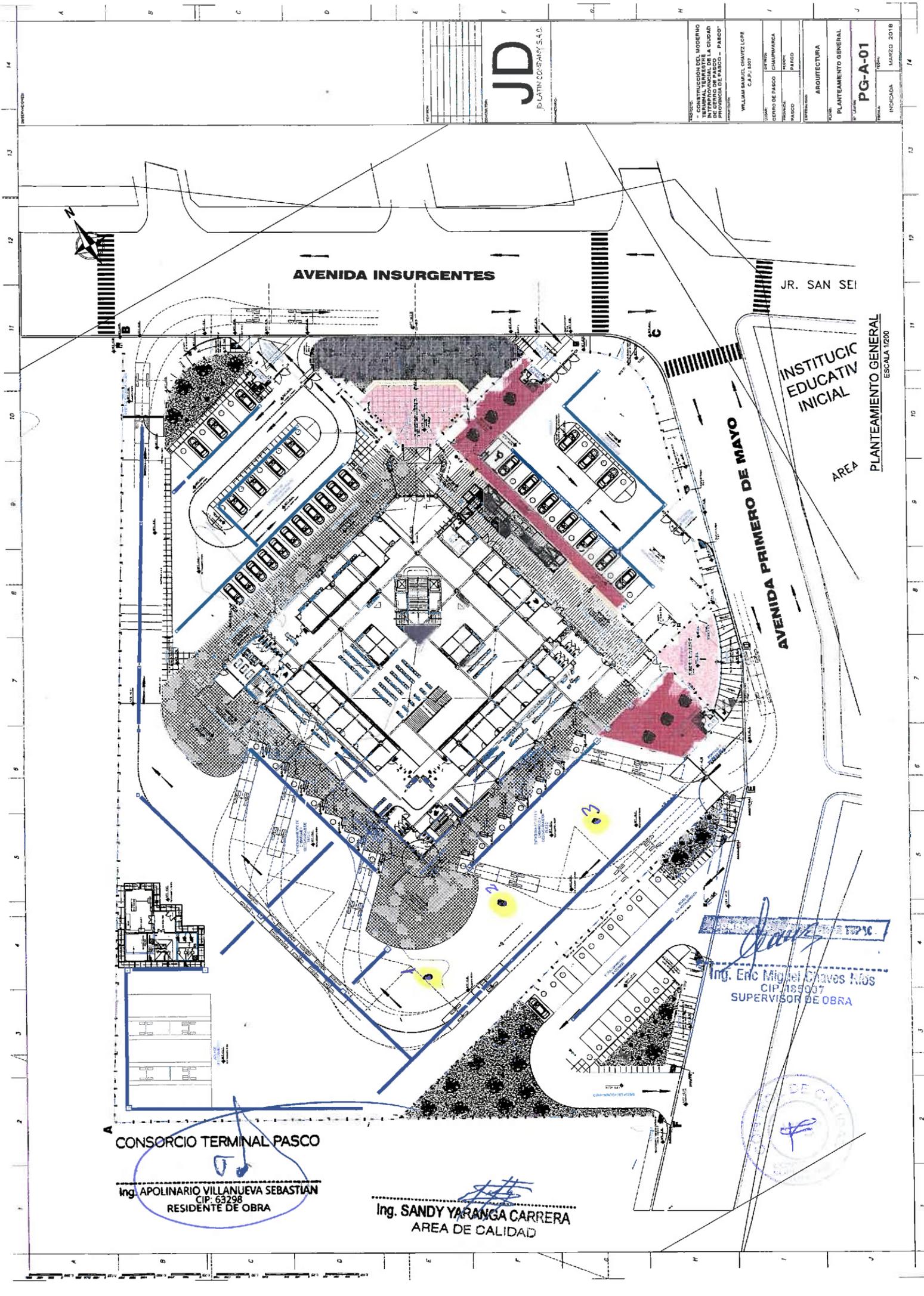
Ing. SANDY YARANGA CARRERA  
AREA DE CALIDAD

Ing. Eric Miguel Chaves Ríos  
CIP. 185067  
SUPERVISOR DE OBRA



CONSORCIO TERMINAL PASCO

 <p>CONSORCIO TERMINAL PASCO</p>	<p>ENSAYO DE DENSIDAD DE CAMPO</p>		<p>PT-QC-005-07</p>
			<p>10/07/2023</p>
<p>Proyecto: "CONSTRUCCIÓN DEL MODERNO TERMINAL TERRESTRE INTERPROVINCIAL DE LA CIUDAD DE CERRO DE PASCO"</p>			<p>N° Registro: 038</p>
<p>Cliente: GOBIERNO REGIONAL DE PASCO</p>		<p>Fecha: 09/09/2023</p>	<p>REVISION:0</p>
<p>Zona: Estac. Emb. y desemb. de Buas.</p>		<p>Plano de Referencia: PG-A-01</p>	
<p>Material: <i>Próximo (Socofamilia)</i></p>	<p>Equipo empleado: <i>- Como el de mudad - Speedy</i></p>	<p>Modelo/Marca: <i>Rumistoma</i></p>	
<b>DATOS</b>			
NUMERO DE ENSAYO	1	2	3
UBICACIÓN DEL ENSAYO	<i>Est. Emb. B</i>	<i>Est. Emb. B</i>	<i>Est. Emb. B</i>
CAPA	6	6	6
ESPESOR DE LA CAPA (m)	0.20	0.20	0.20
<b>DENSIDAD</b>			
Fecha del ensayo	09/09/23	09/09/23	09/09/23
Peso del frasco + arena	g 7210	g 7230	g 7200
Peso del frasco + arena que queda	g 1540	g 1570	g 1520
Peso de arena empleada	g 5670	g 5660	g 5680
Peso de arena en el cono	g 1640	g 1640	g 1640
Peso de arena en la excavación	g 4030	g 4020	g 4040
Densidad de la arena	g/cm³ 1.40	g/cm³ 1.40	g/cm³ 1.40
Volumen del material extraído	cm³ 2878.6	cm³ 2871.4	cm³ 2885.7
Peso del recipiente + suelo + grava	g 7440	g 7390	g 7460
Peso del recipiente	g 420	g 420	g 420
Peso del suelo + grava	g 7020	g 6970	g 7040
Densidad húmeda in-situ	g/cm³ 2.439	g/cm³ 2.427	g/cm³ 2.440
Densidad seca in-situ	g/cm³ 2.338	g/cm³ 2.321	g/cm³ 2.323
<b>CORRECCIÓN A LA DENSIDAD SECA Y CONTENIDO DE HUMEDAD POR PARTÍCULAS EXTRADIMENSIONADAS (ASTM D-4718)</b>			
Peso específico del material extradimensionado (ASTM C-127)	g/cm³ 2.62	g/cm³ 2.62	g/cm³ 2.62
Absorción del material extradimensionado (ASTM C-127)	% 1.04	% 1.04	% 1.04
Peso del material extradimensionado húmedo	gr 1280	gr 1320	gr 1280
Peso del material extradimensionado seco	gr 1266.8	gr 1306.4	gr 1266.8
Peso de material de fracción fina seca	gr 5466.7	gr 5355.5	gr 5439.1
Peso de la muestra extraída seca	gr 6733.5	gr 6661.9	gr 6705.9
% Material extradimensionado	% 18.8	% 19.6	% 18.9
% Material de fracción fina	% 81.2	% 80.4	% 81.1
Humedad de la muestra total	% 4.3	% 4.6	% 5.0
Humedad de la fracción fina	% 5.000	% 5.500	% 5.900
Densidad seca de la fracción fina	g/cm³ 2.281	g/cm³ 2.258	g/cm³ 2.263
<b>GRADO DE COMPACTACIÓN</b>			
Máxima densidad seca (ASTM D-1557)	g/cm³ 2.27	g/cm³ 2.27	g/cm³ 2.27
Óptimo contenido de humedad (ASTM D-1557)	% 5.50	% 5.50	% 5.50
Grado de compactación	% 97.93	% 96.84	% 97.15
CONSORCIO TERMINAL PASCO		GOBIERNO REGIONAL DE PASCO	
ING. RESIDENTE	ESPECIALISTA (QC)	ESPECIALISTA (QC)	SUPERVISION / INSPECTOR
<p>NOMBRE:</p> <p><b>CONSORCIO TERMINAL PASCO</b></p> <p>CARGO:</p> <p><b>Ing. APOLINARIO VILLANUEVA SEBASTIAN</b></p> <p>CIP: 63298</p> <p>FIRMA: RESIDENTE DE OBRA</p>	<p>NOMBRE:</p> <p><b>Ing. SANDY YARANGA CARRERA</b></p> <p>CARGO: AREA DE CALIDAD</p> <p>FIRMA:</p>	<p>NOMBRE:</p> <p><b>Ing. Luis Angel Torres Nolas</b></p> <p>CARGO: SUPERVISOR DE OBRA</p> <p>CIP: 185007</p> <p>FIRMA:</p>	<p>NOMBRE:</p> <p><b>Ing. Luis Angel Torres Nolas</b></p> <p>CARGO: SUPERVISOR DE OBRA</p> <p>CIP: 185007</p> <p>FIRMA:</p>



**JD**  
 JO LATA COMPANY S.A.C.

PROYECTO		CONSTRUCCION DEL MODERNO TERMINAL TERRESTRE EN LA CIUDAD DE CENTRO DE PASCO - PASCO - PROVINCIA DE PASCO - PERU	
PROYECTISTA		WILLIAM RAFAEL CHAVEZ LOPEZ C.A.P. 1807	
UBICACION	CHAMARRAGA	PROVINCIA	PASCO
FECHA	MARZO 2018	INFORMACION	
ARQUITECTURA		PLANTEAMIENTO GENERAL	
PG-A-01		MARZO 2018	

**AVENIDA INSURGENTES**

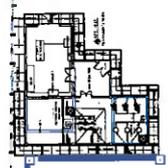
JR. SAN SEI

**INSTITUCION EDUCATIVA INICIAL**

AREA

**AVENIDA PRIMERO DE MAYO**

PLANTEAMIENTO GENERAL  
 ESCALA 1:200



**CONSORCIO TERMINAL PASCO**

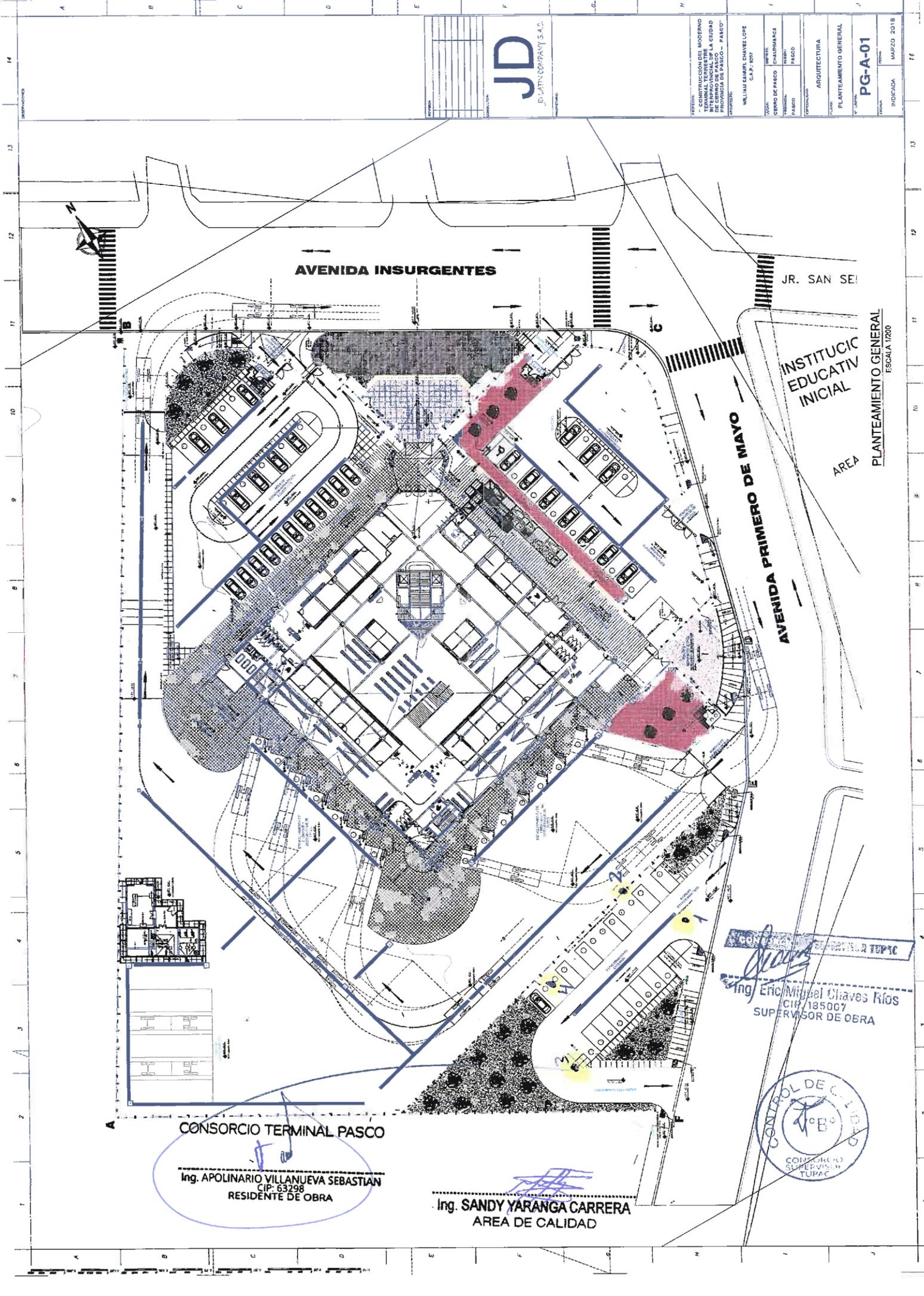
Ing. APOLINARIO VILLANUEVA SEBASTIAN  
 CIP: 63298  
 RESIDENTE DE OBRA

Ing. SANDY YARANGA CARRERA  
 AREA DE CALIDAD

Ing. Eric Miguel Chaves Nolas  
 CIP: 185007  
 SUPERVISOR DE OBRA



 <p>CONSORCIO TERMINAL PASCO</p>	PROTOCOLO				CONTROL	PT-CC-005-07
	ENSAYO DE DENSIDAD DE CAMPO				FECHA:	10/07/2023
					VERSION:	01
					PAGINA:	1 DE 1
Proyecto: "CONSTRUCCIÓN DEL MODERNO TERMINAL TERRESTRE INTERPROVINCIAL DE LA CIUDAD DE CERRO DE PASCO"					N° Registro: 037	
Cliente: GOBIERNO REGIONAL DE PASCO				Fecha: 09/09/2023		REVISION:0
Zona: Estacionamiento exterior				Plano de Referencia: PG-A-01		
Material: Práctimo (sarcófamilia)	Equipo empleado: Como de densidad - Speedy		Modelo/Marca: Rumiotome			
<b>DATOS</b>						
NUMERO DE ENSAYO	1	2	3	4		
UBICACIÓN DEL ENSAYO	Est. Ext	Est. Ext	Est. Exterior	Est. Exterior		
CAPA	4	4	4	4		
ESPESOR DE LA CAPA (m)	0.20	0.20	0.20	0.20		
<b>DENSIDAD</b>						
Fecha del ensayo	09/09/23	09/09/23	09/09/23	09/09/23		
Peso del frasco + arena	g 7200	7200	7210	7210		
Peso del frasco + arena que queda	g 1590	1540	1510	1510		
Peso de arena empleada	g 5610	5660	5700	5690		
Peso de arena en el cono	g 1640	1640	1640	1640		
Peso de arena en la excavación	g 3970	4020	4060	4050		
Densidad de la arena	g/cm³ 1.40	1.40	1.40	1.40		
Volumen del material extraído	cm³ 2835.7	2871.4	2900.0	2892.9		
Peso del recipiente + suelo + grava	g 7420	7520	7380	7460		
Peso del recipiente	g 420	420	420	420		
Peso del suelo + grava	g 7000	7100	6960	7040		
Densidad húmeda in-situ	g/cm³ 2.469	2.473	2.400	2.434		
Densidad seca in-situ	g/cm³ 2.362	2.359	2.303	2.327		
<b>CORRECCIÓN A LA DENSIDAD SECA Y CONTENIDO DE HUMEDAD POR PARTÍCULAS EXTRADIMENSIONADAS (ASTM D-4718)</b>						
Peso específico del material extradimensionado (ASTM C-127)	g/cm³ 2.62	2.62	2.62	2.62		
Absorción del material extradimensionado (ASTM C-127)	% 1.04	1.04	1.04	1.04		
Peso del material extradimensionado húmedo	gr 1380	1490	1260	1280		
Peso del material extradimensionado seco	gr 1365.8	1474.7	1247.0	1266.3		
Peso de material de fracción fina seca	gr 5332.1	5302.5	5433.7	5464.9		
Peso de la muestra extraída seca	gr 6697.9	6777.1	6680.8	6731.7		
% Material extradimensionado	% 20.4	21.0	18.7	18.8		
% Material de fracción fina	% 79.6	78.2	81.3	81.2		
Humedad de la muestra total	% 4.5	4.8	4.2	4.6		
Humedad de la fracción fina	% 5.400	5.300	4.900	5.400		
Densidad seca de la fracción fina	g/cm³ 2.304	2.295	2.241	2.268		
<b>GRADO DE COMPACTACIÓN</b>						
Máxima densidad seca (ASTM D-1557)	g/cm³ 2.27	2.27	2.27	2.27		
Óptimo contenido de humedad (ASTM D-1557)	% 5.50	5.50	5.50	5.50		
Grado de compactación	% 98.70	98.13	96.23	97.37		
CONSORCIO TERMINAL PASCO			GOBIERNO REGIONAL DE PASCO			
ING. RESIDENTE		ESPECIALISTA (QC)		ESPECIALISTA (QC)		SUPERVISION / INSPECTOR
NOMBRE: CONSORCIO TERMINAL PASCO		NOMBRE: Ing. SANDY YARANGA CARRERA		NOMBRE: 		NOMBRE: 
CARGO: Ing. APOLINARIO VILLANUEVA SEBASTIAN CIP: 63298		CARGO: AREA DE CALIDAD		CARGO: 		CARGO: Ing. ENO MAGUEL CHAVES RÍOS CIP: 185007 SUPERVISOR DE OBRA
FIRMA: RESIDENTE DE OBRA		FIRMA:		FIRMA:		FIRMA:



**JD**  
 J.D. LATIN COMPANY S.A.C.

PROYECTO: RECONSTRUCCIÓN DEL MODERNO TERMINAL TERRESTRE EN LA CIUDAD DE CENTRO DE PASCO - PASCO, PROVINCIA DE PASCO - PASCO	
PROYECTISTA: WILLY CAMPEL CHAVEZ LOPE S.A.P. S.R.L.	
UBICACIÓN:	CENTRO DE PASCO - CALPAMARCA
TÍTULO:	PASCO
FECHA:	PASCO
ESPECIFICACION:	
ARQUITECTURA	
PLANTEAMIENTO GENERAL	
Nº DE PLAN:	<b>PG-A-01</b>
INDICADA:	MARZO 2018

**AVENIDA INSURGENTES**

JR. SAN SEB

INSTITUCIÓN EDUCATIVA INICIAL

**AVENIDA PRIMERO DE MAYO**

PLANTEAMIENTO GENERAL  
 ESCALA 1:200

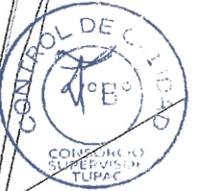
**CONSORCIO TERMINAL PASCO**

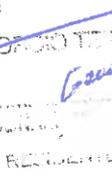
Ing. APOLINARIO VILLANUEVA SEBASTIAN  
 CIP: 63298  
 RESIDENTE DE OBRA

Ing. SANDY YARANGA CARRERA  
 AREA DE CALIDAD

CONSORCIO SUPERVISOR TUPAC

Ing. Eric Miguel Chaves Ríos  
 CIP: 185007  
 SUPERVISOR DE OBRA



	CONSORCIO		FORMA	PT-QC-005-07
	ENSAYO DE DENSIDAD DE CAMPO		FECHA	10/07/2023
			Nº Hoja	01
			TOTAL	1 DE 1
Proyecto:	"CONSTRUCCIÓN DEL MODERNO TERMINAL TERRESTRE INTERPROVINCIAL DE LA CIUDAD DE CERRO DE PASCO"		Nº Registro:	036
Cilente:	GOBIERNO REGIONAL DE PASCO	Fecha:	07/09/2023	REVISION:0
Zona:	Estacionam. Emb. y dren. Bases	Plano de Referencia:	PB-A-01	
Material:	Plustamo (Saurafamilia)	Equipo empleado:	- Como de comunidad - Speedy	Modelo/Marca: Remistome
<b>DATOS</b>				
NUMERO DE ENSAYO	1			
UBICACIÓN DEL ENSAYO	Est. Emb B			
CAPA	5			
ESPESOR DE LA CAPA (m)	0.20			
<b>DENSIDAD</b>				
Fecha del ensayo	07/09/23			
Peso del frasco + arena	g	7200		
Peso del frasco + arena que queda	g	1530		
Peso de arena empleada	g	5670		
Peso de arena en el cono	g	1640		
Peso de arena en la excavación	g	4030		
Densidad de la arena	g/cm <sup>3</sup>	1.40		
Volumen del material extraído	cm <sup>3</sup>	2878.6		
Peso del recipiente + suelo + grava	g	7370		
Peso del recipiente	g	420		
Peso del suelo + grava	g	6950		
Densidad húmeda in-situ	g/cm <sup>3</sup>	2.414		
Densidad seca in-situ	g/cm <sup>3</sup>	2.310		
<b>CORRECCIÓN A LA DENSIDAD SECA Y CONTENIDO DE HUMEDAD POR PARTÍCULAS EXTRADIMENSIONADAS (ASTM D-4718)</b>				
Peso específico del material extradimensionado (ASTM C-127)	g/cm <sup>3</sup>	2.62		
Absorción del material extradimensionado (ASTM C-127)	%	1.14		
Peso del material extradimensionado húmedo	gr	1380		
Peso del material extradimensionado seco	gr	1364.4		
Peso de material de fracción fina seca	gr	5284.6		
Peso de la muestra extraída seca	gr	6649.1		
% Material extradimensionado	%	20.5		
% Material de fracción fina	%	79.5		
Humedad de la muestra total	%	4.5		
Humedad de la fracción fina	%	5.40		
Densidad seca de la fracción fina	g/cm <sup>3</sup>	2.242		
<b>GRADO DE COMPACTACIÓN</b>				
Máxima densidad seca (ASTM D-1557)	g/cm <sup>3</sup>	2.34		
Óptimo contenido de humedad (ASTM D-1557)	%	5.40		
Grado de compactación	%	95.87		
<b>CONSORCIO TERMINAL PASCO</b>		<b>GOBIERNO REGIONAL DE PASCO</b>		
<b>ING. RESIDENTE</b>	<b>ESPECIALISTA (QC)</b>	<b>ESPECIALISTA (QC)</b>	<b>SUPERVISION / INSPECTOR</b>	
NOMBRE: CONSORCIO TERMINAL PASCO	NOMBRE: Ing. SANDY YAN W. CARRERA	NOMBRE: 	NOMBRE: Ing. Eric Miguel Chaves Ríos	
CARGO: SUPERVISOR	CARGO: AREA DE CALIDAD	CARGO: CONSORSIO SUPERVISOR TUPAC	CARGO: SUPERVISOR DE OBRA	
FIRMA: 	FIRMA: 	FIRMA: 	FIRMA: 	



 <p>MINISTERIO DE TRANSPORTES E INFRAESTRUCTURA</p>	PROTÓCOLO	CÓDIGO:	PT-QC-005-07
	ENSAYO DE DENSIDAD DE CAMPO	FECHA:	10/07/2023
		VERSIÓN:	01
		PÁGINA:	1 DE 1

Proyecto:	"CONSTRUCCIÓN DEL MODERNO TERMINAL TERRESTRE INTERPROVINCIAL DE LA CIUDAD DE CERRO DE PASCO"	N° Registro:	035
Cliente:	GOBIERNO REGIONAL DE PASCO	Fecha:	06/09/2023
Zona:	Estacionam. Embarque y desembarque Buses	Plano de Referencia:	PG-A-01

Material:	Equipo empleado:	Modelo/Marca:
próstamo (La Cruz familia)	- Cono de densidad - Speedy	Rumistom

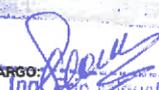
DATOS			
NUMERO DE ENSAYO	1		
UBICACIÓN DEL ENSAYO	Eof. Emb B		
CAPA	5		
ESPESOR DE LA CAPA (m)	0.20		

DENSIDAD			
Fecha del ensayo		06/09/23	
Peso del frasco + arena	g	7200	
Peso del frasco + arena que queda	g	1600	
Peso de arena empleada	g	5600	
Peso de arena en el cono	g	1640	
Peso de arena en la excavación	g	3960	
Densidad de la arena	g/cm³	1.40	
Volumen del material extraído	cm³	2828.6	

Peso del recipiente + suelo + grava	g	7480	
Peso del recipiente	g	420	
Peso del suelo + grava	g	7060	
Densidad húmeda in-situ	g/cm³	2.496	
Densidad seca in-situ	g/cm³	2.368	

CORRECCIÓN A LA DENSIDAD SECA Y CONTENIDO DE HUMEDAD POR PARTÍCULAS EXTRADIMENSIONADAS (ASTM D-4718)			
Peso específico del material extradimensionado (ASTM C-127)	g/cm³	2.62	
Absorción del material extradimensionado (ASTM C-127)	%	1.14	
Peso del material extradimensionado húmedo	gr	1440	
Peso del material extradimensionado seco	gr	1423.8	
Peso de material de fracción fina seca	gr	5277.0	
Peso de la muestra extralida seca	gr	6700.8	
% Material extradimensionado	%	21.2	
% Material de fracción fina	%	78.8	
Humedad de la muestra total	%	5.4	
Humedad de la fracción fina	%	6.50	
Densidad seca de la fracción fina	g/cm³	2.308	

GRADO DE COMPACTACIÓN			
Máxima densidad seca (ASTM D-1557)	g/cm³	3.24	
Óptimo contenido de humedad (ASTM D-1557)	%	5.40	
Grado de compactación	%	98.60	

CONSORCIO TERMINAL PASCO		GOBIERNO REGIONAL DE PASCO	
ING. RESIDENTE	ESPECIALISTA (QC)	ESPECIALISTA (QC)	SUPERVISION / INSPECTOR
NOMBRE: CONSORCIO TERMINAL PASCO CARGO: ING. APOLINARIO MORALES TORRES RESIDENTE DE OBRA FIRMA:	NOMBRE:  CARGO: ING. SANDY YANAGA CARRERA AREA DE CALIDAD FIRMA:	 NOMBRE:  CARGO: ING. ERIC MIGUEL CHAVES RÍOS CIP. 185007 SUPERVISOR DE OBRA FIRMA:	

**JD**

JD LATIN COMPANY S.A.C.

PROYECTO: MODIFICACION DEL PLAN DE ORDENAMIENTO TERRITORIAL Y URBANISTICO DE LA CIUDAD DE PASCO, PROVINCIA DE PASCO - PERU  
PROYECTO: PLAN DE ORDENAMIENTO TERRITORIAL Y URBANISTICO DE PASCO - PERU  
AUTORIA: WILLIAM GABRIEL CHAVES RIOS  
C.A.P. 18507

CLIENTE: CENTRO DE PASCO  
DISEÑADA POR: INGENIERO  
PASCO  
CARTAGENA

PROYECTO: PLANEAMIENTO GENERAL

**PG-A-01**

CON: 118.4.005  
MA: 10.1012

**AVENIDA INSURGENTES**

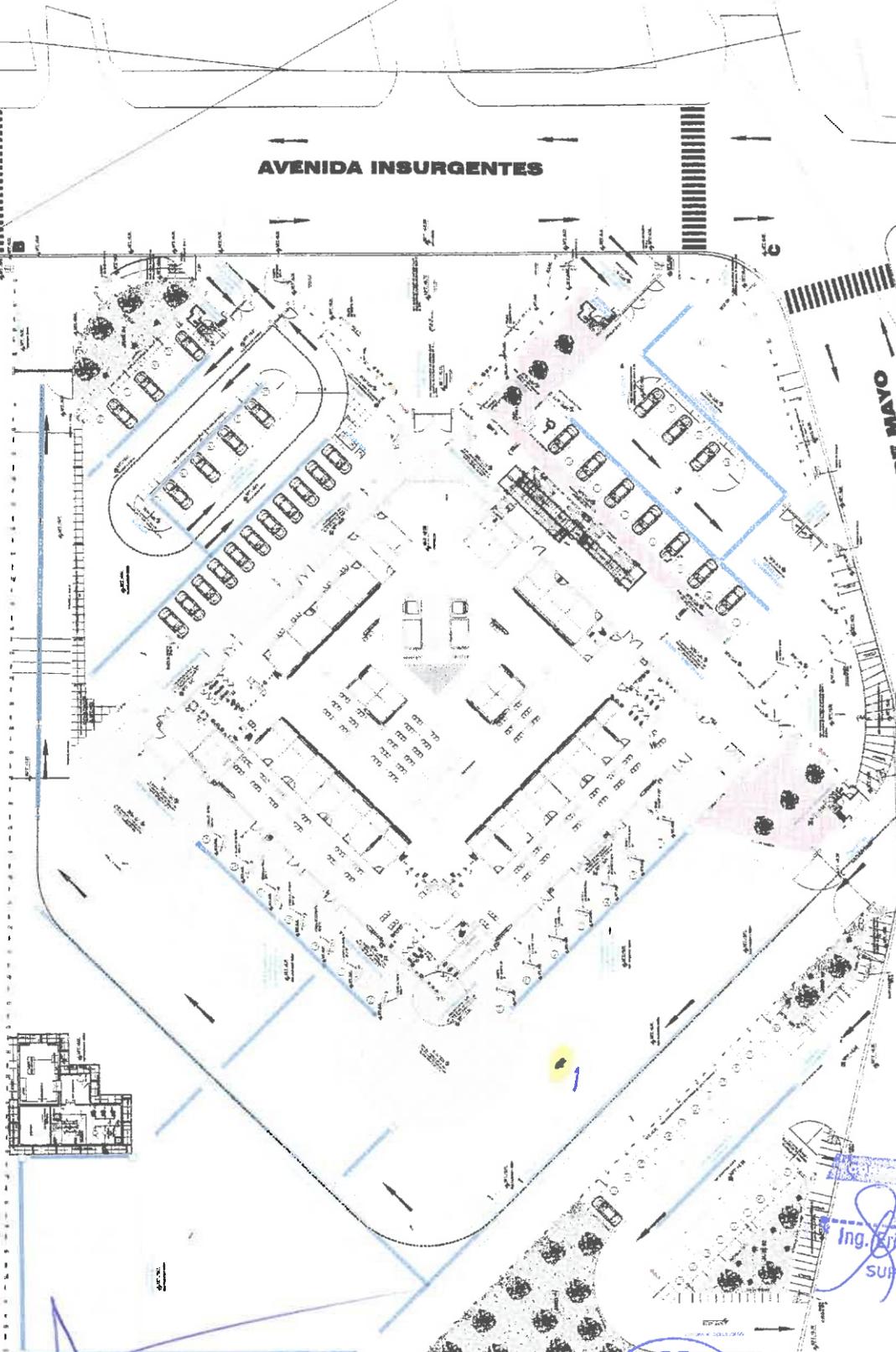
JR. SAN SE

**INSTITUCION EDUCATIVA INICIAL**

AREA

**PLANEAMIENTO GENERAL**  
ESCALA 1:200

**AVENIDA PRIMERO DE MAYO**



CONSORCIO TERMINAL PASCO

Ing. SANDY YARANGA CARRERA  
AREA DE CALIDAD



Ing. Ríos Miguel Chaves Ríos  
CIP. 185007  
SUPERVISOR DE OBRA

	PROYECTO	CODIGO	PT-QC-005-07
	ENSAYO DE DENSIDAD DE CAMPO	FECHA:	10/07/2023
		VERSION:	01
		PAGINA:	1 DE 1

Proyecto: "CONSTRUCCIÓN DEL MODERNO TERMINAL TERRESTRE INTERPROVINCIAL DE LA CIUDAD DE CERRO DE PASCO" N° Registro: 034

Cliente: GOBIERNO REGIONAL DE PASCO Fecha: 04/09/2023 REVISION: 0

Zona: Estacionam. de Emb y desemb - Busas Plano de Referencia: PG-A-01

Material: Prístamo (Sacrafamilia) Equipo empleado: - Cono de densidad - Speedy Modelo/Marca: Rumistome

DATOS			
NUMERO DE ENSAYO	1	2	
UBICACIÓN DEL ENSAYO	Est. Emb. B	Est. Emb. B	
CAPA	4	5	
ESPESOR DE LA CAPA (m)	0.20	0.20	

DENSIDAD			
Fecha del ensayo		04/09/23	04/09/23
Peso del frasco + arena	g	7190	7210
Peso del frasco + arena que queda	g	1590	1600
Peso de arena empleada	g	5600	5610
Peso de arena en el cono	g	1640	1640
Peso de arena en la excavación	g	3960	3970
Densidad de la arena	g/cm³	1.40	1.40
Volumen del material extraído	cm³	2828.6	2835.7
Peso del recipiente + suelo + grava	g	7420	7410
Peso del recipiente	g	420	420
Peso del suelo + grava	g	7000	6990
Densidad húmeda in-situ	g/cm³	2.475	2.465
Densidad seca in-situ	g/cm³	2.384	2.361

CORRECCIÓN A LA DENSIDAD SECA Y CONTENIDO DE HUMEDAD POR PARTÍCULAS EXTRADIMENSIONADAS (ASTM D-4718)			
Peso específico del material extradimensionado (ASTM C-127)	g/cm³	2.62	2.62
Absorción del material extradimensionado (ASTM C-127)	%	1.14	1.14
Peso del material extradimensionado húmedo	gr	1470	1410
Peso del material extradimensionado seco	gr	1453.4	1394.1
Peso de material de fracción fina seca	gr	5291.9	5304.2
Peso de la muestra extraída seca	gr	6745.3	6698.3
% Material extradimensionado	%	21.5	20.8
% Material de fracción fina	%	78.5	79.2
Humedad de la muestra total	%	3.8	4.4
Humedad de la fracción fina	%	4.50	5.20
Densidad seca de la fracción fina	g/cm³	2.327	2.301

GRADO DE COMPACTACIÓN			
Máxima densidad seca (ASTM D-1557)	g/cm³	2.34	2.34
Óptimo contenido de humedad (ASTM D-1557)	%	5.40	5.40
Grado de compactación	%	99.37	98.36

CONSORCIO TERMINAL PASCO		GOBIERNO REGIONAL DE PASCO	
ING. RESIDENTE	ESPECIALISTA (QC)	ESPECIALISTA (QC)	SUPERVISION / INSPECTOR
NOMBRE: CONSORCIO TERMINAL PASCO CARGO: Ing. APOLINARIO DOMINGA SEBASTIAN RESIDENTE DE OBRA FIRMA:	NOMBRE: Ing. SANDY YAZMINA CARRERA AREA DE CALIDAD FIRMA:	NOMBRE: [Firma] CARGO: [Firma] FIRMA:	NOMBRE: Ing. Eric Miguel Chaves Ríos CIP. 185007 SUPERVISOR DE OBRA FIRMA:

JD  
ID: 10000000000000000000

PROYECTO	CONSTRUCCIÓN DEL MODERNO INTERCOMUNAL DE LA CIUDAD INTERCOMUNAL DE PASCO - PASCO
PROYECTANTE	WILLIAM GABRIEL CHAVEZ RIVERA C.A.P. 1897
TIPO DE OBRA	COMERCIO DE PASCO - CHAMPAMARCA
PAIS	PASCO
PROYECTO	PROYECTO
PROYECTANTE	ARQUITECTURA
PROYECTO	PLANTEAMIENTO GENERAL
PROYECTO	PG-A-01
PROYECTO	REVISOR
PROYECTO	MARZO 2016

AVENIDA INSURGENTES

JR. SAN SE

INSTITUCION EDUCATIVA INICIAL

AVENIDA PRIMERO DE MAYO

PLANTEAMIENTO GENERAL  
ESCALA 1:200

AREA

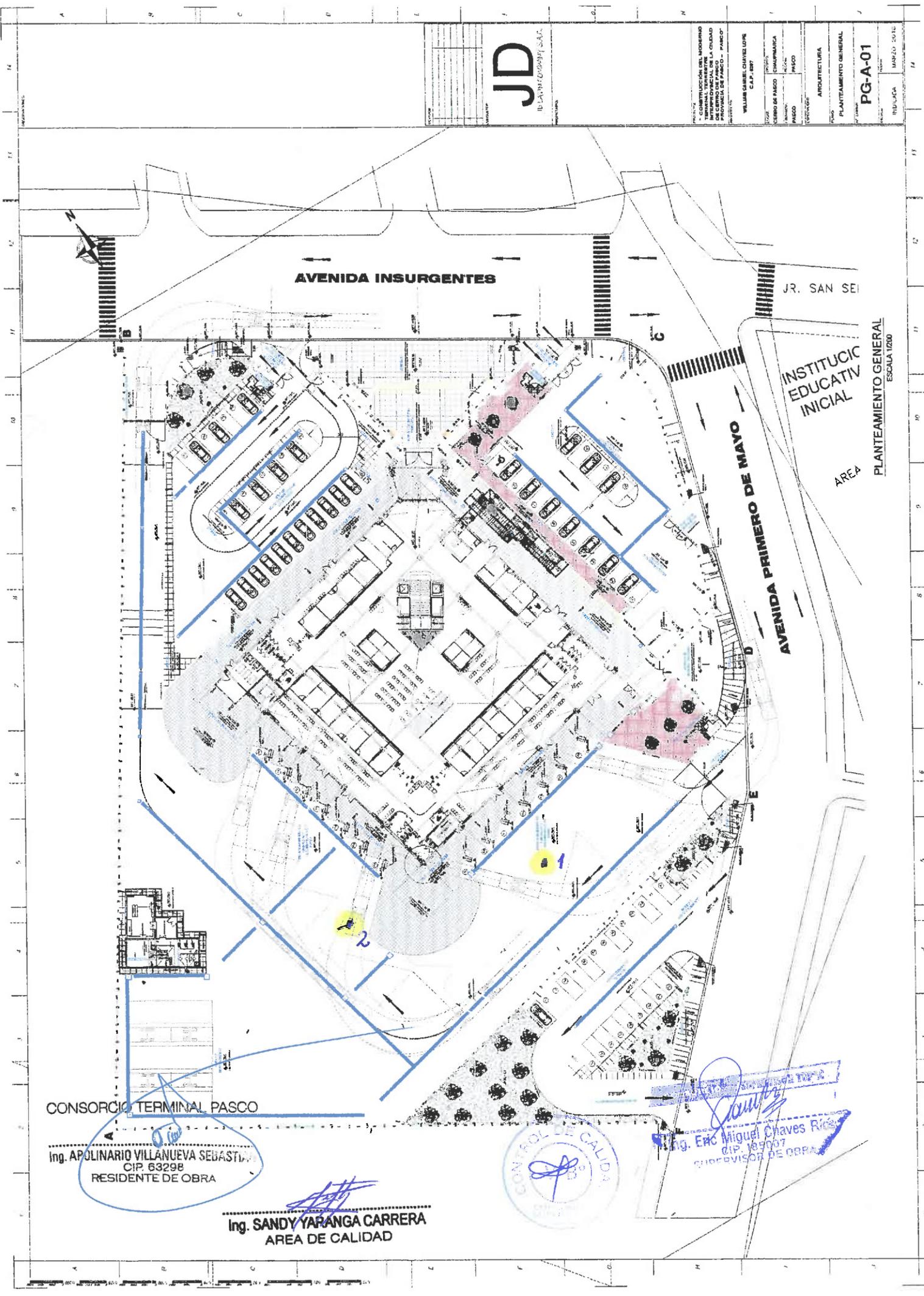
CONSORCIO TERMINAL PASCO

Ing. APOLINARIO VILLANUEVA SEBASTIAN  
CIP. 63298  
RESIDENTE DE OBRA

Ing. SANDY YARANGA CARRERA  
AREA DE CALIDAD

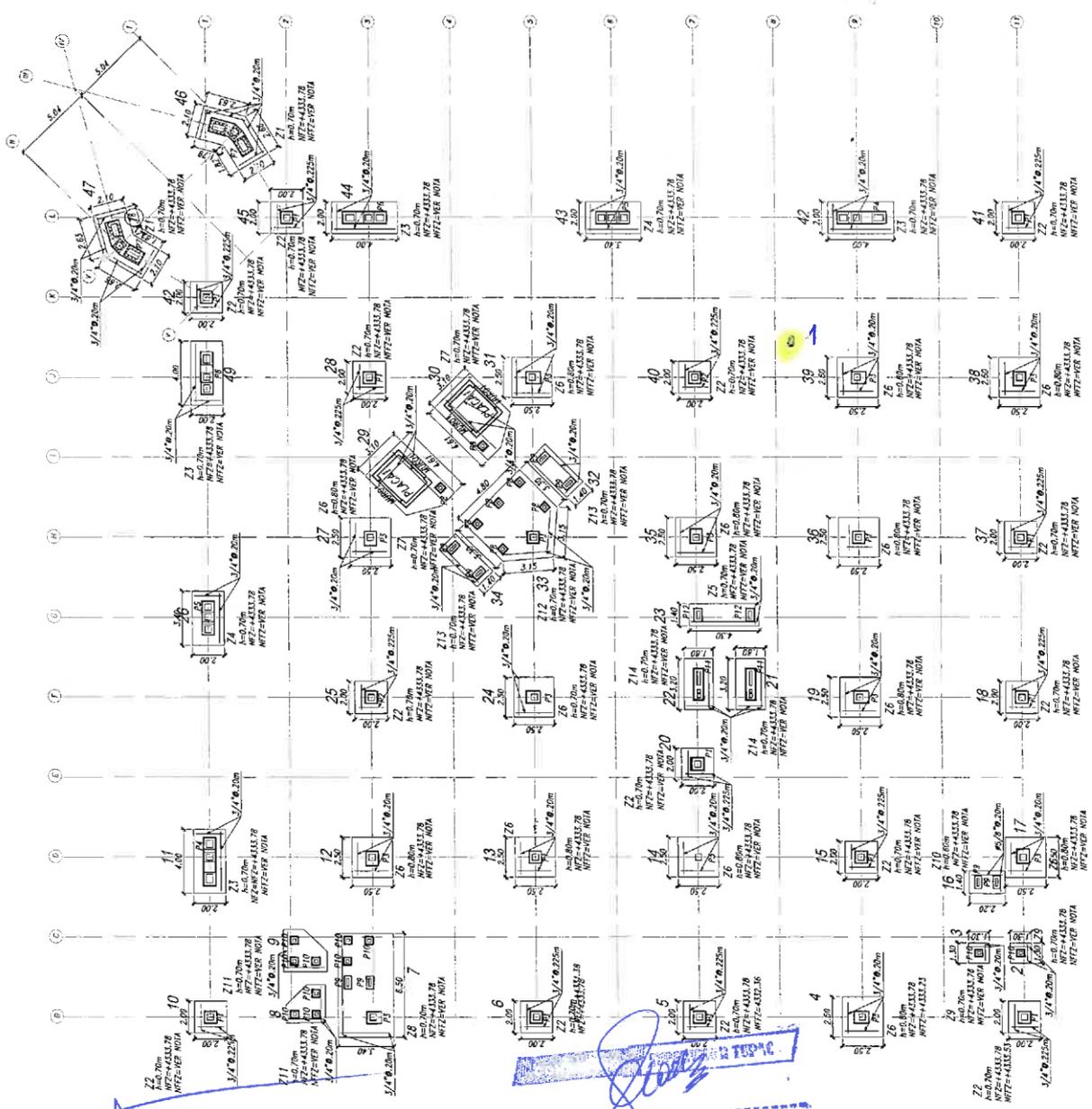


Ing. Eric Miguel Chaves Rivas  
CIP. 18907  
SUPERVISOR DE OBRA



	<b>PROTOCOLO</b>				CÓDIGO: PT-QC-005-07 FECHA: 10/07/2023 VERSIÓN: 01 PAGINA: 1 DE 1	
	ENSAYO DE DENSIDAD DE CAMPO					
Proyecto: "CONSTRUCCIÓN DEL MODERNO TERMINAL TERRESTRE INTERPROVINCIAL DE LA CIUDAD DE CERRO DE PASCO"					N° Registro: 033	
Cliente: GOBIERNO REGIONAL DE PASCO			Fecha: 02/09/2023		REVISION: 0	
Zona: Ges (J-K) / (7-9), Lado Cisterna, Est. Emb. Buan					Plano de Referencia:	
Material: <i>Prustamo (Sarafamilia)</i>		Equipo empleado: <i>- Camo de humedad - Speedy</i>		Modelo/Marca: <i>Rumistomo</i>		
<b>DATOS</b>						
NUMERO DE ENSAYO	1	2	3	4	5	6
UBICACIÓN DEL ENSAYO	<i>(J-K) (7-9)</i>	<i>Lado Cistern</i>	<i>Lado Cistern</i>	<i>Lado Cistern</i>	<i>Est. Emb. Buan</i>	<i>Est. Emb. Buan</i>
CAPA	9	4	4	4	5	5
ESPESOR DE LA CAPA (m)	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20
<b>DENSIDAD</b>						
Fecha del ensayo	02/09/23	02/09/23	02/09/23	02/09/23	02/09/23	02/09/23
Peso del frasco + arena	7200	7170	7190	7200	7170	7160
Peso del frasco + arena que queda	1520	1500	1580	1480	1570	1570
Peso de arena empleada	5680	5670	5610	5720	5600	5590
Peso de arena en el cono	1640	1640	1640	1640	1640	1640
Peso de arena en la excavación	4040	4030	3970	4080	3960	3950
Densidad de la arena	1.40	1.40	1.40	1.40	1.40	1.40
Volumen del material extraído	2885.7	2878.6	2835.7	2914.3	2829.6	2821.4
Peso del recipiente + suelo + grava	7430	7440	7410	7380	7470	7450
Peso del recipiente	420	420	420	420	420	420
Peso del suelo + grava	7010	7020	6990	6960	7050	7030
Densidad húmeda in-situ	2.429	2.439	2.465	2.388	2.492	2.492
Densidad seca in-situ	2.325	2.347	2.363	2.299	2.397	2.391
<b>CORRECCIÓN A LA DENSIDAD SECA Y CONTENIDO DE HUMEDAD POR PARTÍCULAS EXTRADIMENSIONADAS (ASTM D-4718)</b>						
Peso específico del material extradimensionado (ASTM C-127)	g/cm³	2.63	2.63	2.63	2.63	2.63
Absorción del material extradimensionado (ASTM C-127)	%	0.98	0.98	0.98	0.98	0.98
Peso del material extradimensionado húmedo	gr	1210	1290	1420	1260	1280
Peso del material extradimensionado seco	gr	1198.3	1278.5	1406.2	1247.8	1267.6
Peso de material de fracción fina seca	gr	5508.1	5478.0	5294.7	5449.3	5519.0
Peso de la muestra extraída seca	gr	6706.3	6755.5	6700.9	6697.1	6778.6
% Material extradimensionado	%	17.9	18.9	21.0	18.6	18.7
% Material de fracción fina	%	82.1	81.1	79.0	81.4	81.3
Humedad de la muestra total	%	4.5	3.9	4.3	3.9	4.0
Humedad de la fracción fina	%	5.30	4.60	5.20	4.60	4.70
Densidad seca de la fracción fina	g/cm³	2.268	2.290	2.301	2.235	2.349
<b>GRADO DE COMPACTACIÓN</b>						
Máxima densidad seca (ASTM D-1557)	g/cm³	2.33	2.33	2.34	2.33	2.33
Óptimo contenido de humedad (ASTM D-1557)	%	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00
Grado de compactación	%	97.51	98.31	98.49	95.99	100.88
<b>CONSORCIO TERMINAL PASCO</b>			<b>GOBIERNO REGIONAL DE PASCO</b>			
<b>ING. RESIDENTE</b>		<b>ESPECIALISTA (QC)</b>		<b>ESPECIALISTA (QC)</b>		<b>SUPERVISION / INSPECTOR</b>
NOMBRE: <b>CONSORCIO TERMINAL PASCO</b> CARGO: <i>[Signature]</i> Ing. APO INACIO VILLANUEVA SEBASTIAN CIP: 13098 FIRMA: RESIDENTE DE OBRA		NOMBRE: <i>[Signature]</i> CARGO: <i>[Signature]</i> Ing. SANDY YARANGA CARRERA AREA DE CALIDAD FIRMA:		NOMBRE: <i>[Signature]</i> CARGO: <i>[Signature]</i> Ing. ENRIQUE MIGUEL CHAVES RIOS CIP: 185007 FIRMA: SUPERVISOR DE OBRA		NOMBRE: <i>[Signature]</i> CARGO: <i>[Signature]</i> Ing. ENRIQUE MIGUEL CHAVES RIOS CIP: 185007 FIRMA: SUPERVISOR DE OBRA

PLANO DE REFERENCIA	
LAMINA	ESPECIALIDAD:
E-02	ESTRUCTURAS
	PLANO:
	CIMENTACIÓN



CONSORCIO TERMINAL PASCO

Ing. FOLIVIANO VILA ARRIAGA SEBASTIAN  
RESIDENTE DE OBRA

Ing. Eric Muñoz Chaves Ríos  
CIP. 185607  
SUPERVISOR DE OBRA

Ing. SANDY YARANGA CARRERA  
AREA DE CALIDAD



JD

J.D. SANCHEZ S.A.C.

CONSTRUCCION DEL MODERNO  
INTERPRETACION DE LA CIUDAD  
PROYECTO DE PASCO - PABLO  
PROYECTO

WILLIAM CAMEL CAMELLO  
C.A.F. 1837

PROYECTO

CONDOMINIO

CONDIVISION

JR. SAN SE

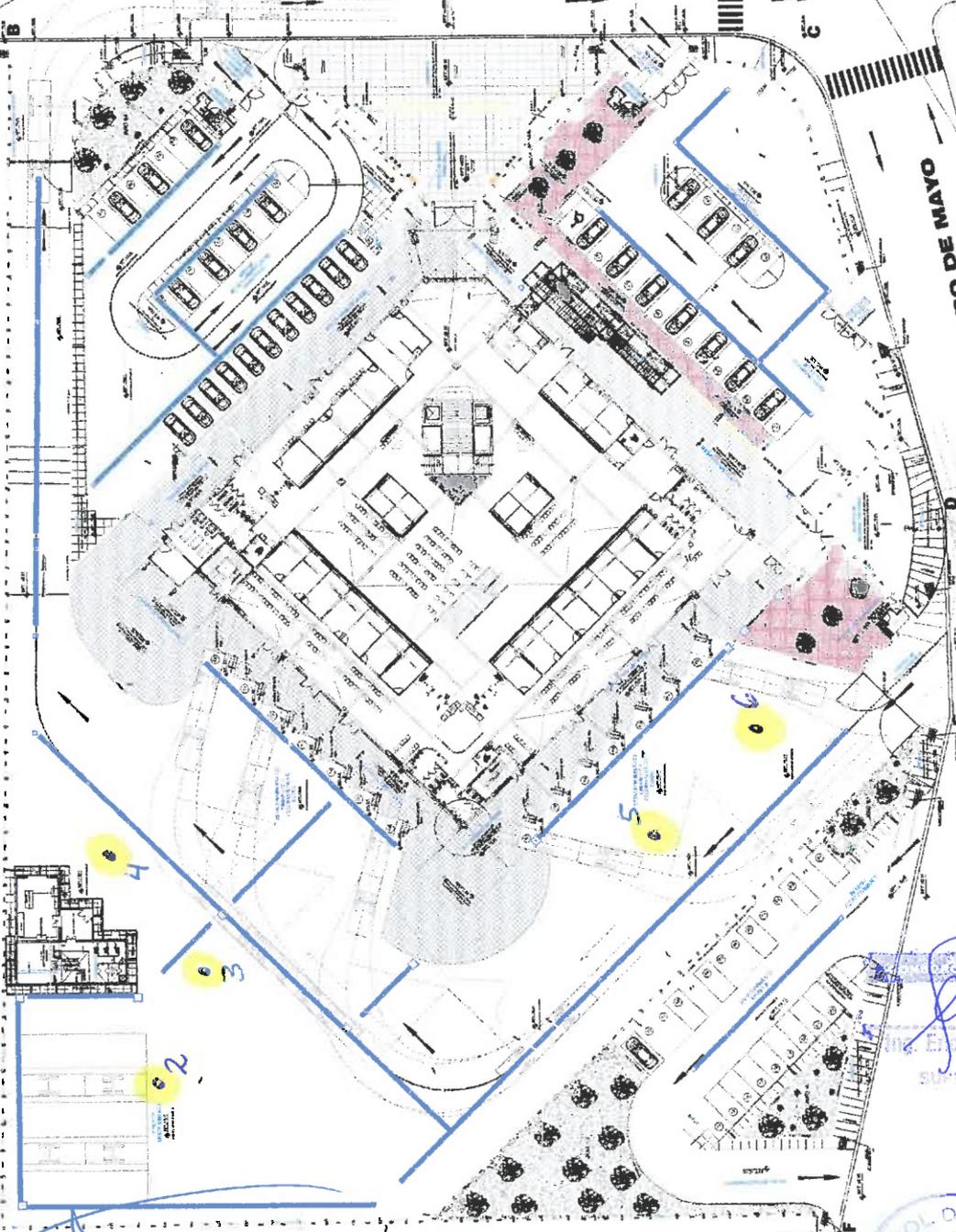
INSTITUCION  
EDUCATIVA  
INICIAL

AREA

PLANTEAMIENTO GENERAL  
ESCALA 1:200

AVENIDA PRIMERO DE MAYO

AVENIDA INSURGENTES



CONSORCIO TERMINAL PASCO

Ing. ANTONIO VILLALBA SEDASTA  
C.P. 10288  
RESIDENTE DE OBRA

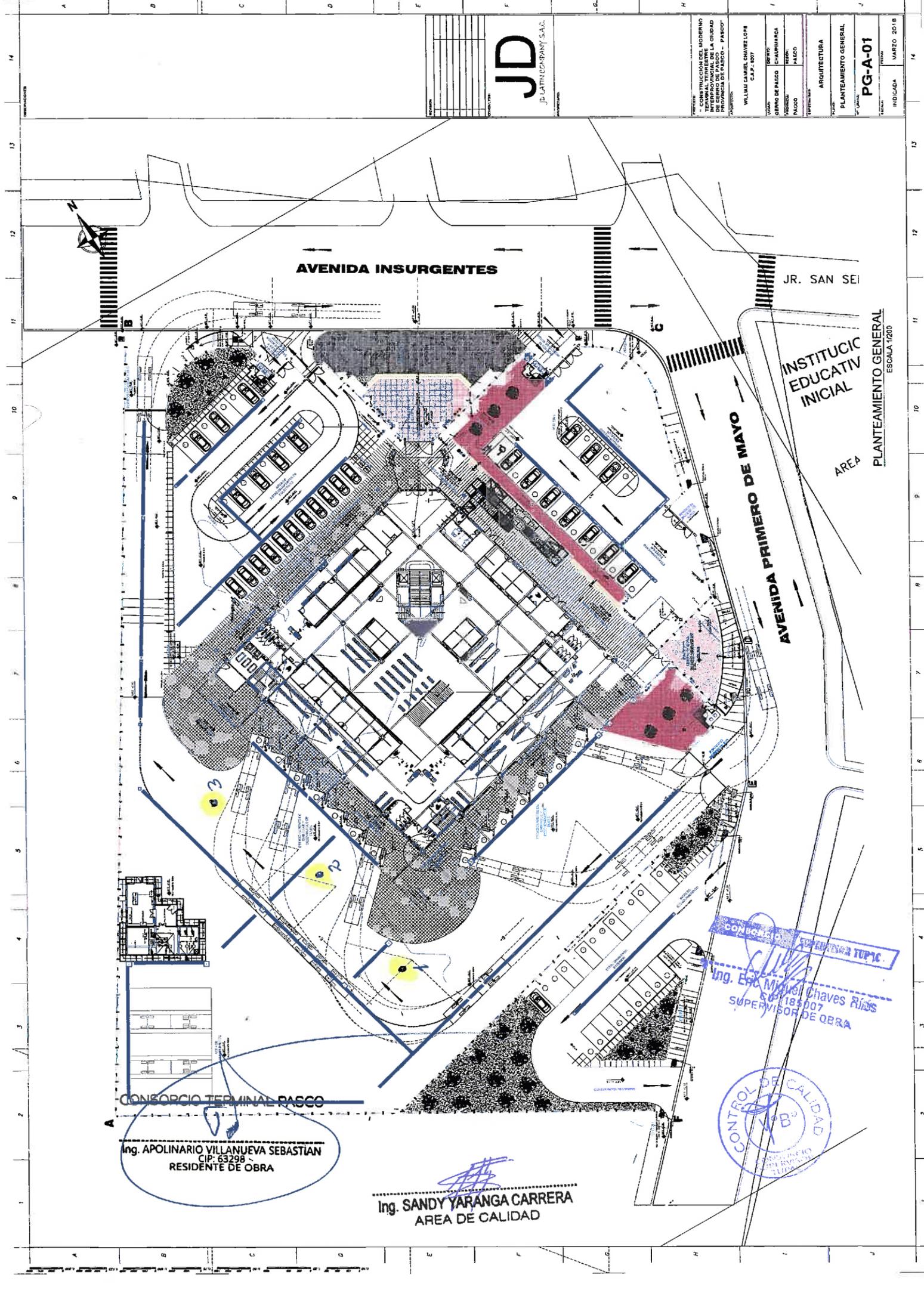
Ing. SANDY YARANGA CARRERA  
AREA DE CALIDAD

Handwritten signature and blue stamp: "SUPERVISOR DE OBRA"

Blue circular stamp: "CONTROL DE CALIDAD"

CONSORCIO TERMINAL PASCO

	<p>ENSAYO DE DENSIDAD DE CAMPO</p>		<p>PT-QC-005-07</p>
			<p>10/07/2023</p>
<p>Proyecto: "CONSTRUCCIÓN DEL MODERNO TERMINAL TERRESTRE INTERPROVINCIAL DE LA CIUDAD DE CERRO DE PASCO"</p>			<p>N° Registro: 032</p>
<p>Cliente: GOBIERNO REGIONAL DE PASCO</p>		<p>Fecha: 02/09/2023</p>	<p>REVISION:0</p>
<p>Zona: Estacionamiento Embargue y desem. buses</p>		<p>Plano de Referencia: PG-A-01</p>	
<p>Material: préstamo (sanrafaelina)</p>	<p>Equipo empleado: - Cono de densidad - Sprudy</p>	<p>Modelo/Marca: Rumixtoma</p>	
<p>DATOS</p>			
<p>NÚMERO DE ENSAYO</p>	1	2	3
<p>UBICACIÓN DEL ENSAYO</p>	Est. Emb. B	Est. Emb. B	Est. Emb. B
<p>CAPA</p>	4	4	4
<p>ESPESOR DE LA CAPA (m)</p>	0.20	0.20	0.20
<p>DENSIDAD</p>			
<p>Fecha del ensayo</p>	02/09/23	02/09/23	02/09/23
<p>Peso del frasco + arena</p>	g 7200	7200	7200
<p>Peso del frasco + arena que queda</p>	g 1630	1430	1580
<p>Peso de arena empleada</p>	g 5570	5770	5620
<p>Peso de arena en el cono</p>	g 1640	1640	1640
<p>Peso de arena en la excavación</p>	g 3930	4130	3980
<p>Densidad de la arena</p>	g/cm³ 1.40	1.40	1.40
<p>Volumen del material extraído</p>	cm³ 2807.1	2950	2842.9
<p>Peso del recipiente + suelo + grava</p>	g 7390	7420	7300
<p>Peso del recipiente</p>	g 420	420	420
<p>Peso del suelo + grava</p>	g 6970	7000	6880
<p>Densidad húmeda in-situ</p>	g/cm³ 2.433	2.373	2.420
<p>Densidad seca in-situ</p>	g/cm³ 2.390	2.286	2.314
<p>CORRECCIÓN A LA DENSIDAD SECA Y CONTENIDO DE HUMEDAD POR PARTÍCULAS EXTRADIMENSIONADAS (ASTM D-4718)</p>			
<p>Peso específico del material extradimensionado (ASTM C-127)</p>	g/cm³ 2.63	2.63	2.63
<p>Absorción del material extradimensionado (ASTM C-127)</p>	% 0.98	0.98	0.98
<p>Peso del material extradimensionado húmedo</p>	gr 1450	1360	1140
<p>Peso del material extradimensionado seco</p>	gr 1435.9	1346.8	1128.9
<p>Peso de material de fracción fina seca</p>	gr 5272.2	5397.1	5445.9
<p>Peso de la muestra extraída seca</p>	gr 6708.1	6743.9	6574.9
<p>% Material extradimensionado</p>	% 21.4	20.0	17.2
<p>% Material de fracción fina</p>	% 78.6	80.0	82.8
<p>Humedad de la muestra total</p>	% 3.9	3.8	4.6
<p>Humedad de la fracción fina</p>	% 4.700	4.500	5.400
<p>Densidad seca de la fracción fina</p>	g/cm³ 2.332	2.214	2.258
<p>GRADO DE COMPACTACIÓN</p>			
<p>Máxima densidad seca (ASTM D-1557)</p>	g/cm³ 2.27	2.27	2.27
<p>Óptimo contenido de humedad (ASTM D-1557)</p>	% 5.80	5.00	5.00
<p>Grado de compactación</p>	% 99.76	94.90	97.17
<p>CONSORCIO TERMINAL PASCO</p>		<p>GOBIERNO REGIONAL DE PASCO</p>	
<p>ING. RESIDENTE</p>	<p>ESPECIALISTA (QC)</p>	<p>ESPECIALISTA (QC)</p>	<p>SUPERVISION / INSPECTOR</p>
<p>NOMBRE: CONSORCIO TERMINAL PASCO</p>	<p>NOMBRE: Ing. SANDY YARANGA CARRERA</p>	<p>NOMBRE: CONTROL DE CALIDAD</p>	<p>NOMBRE: Ing. Eric Miguel Chaves Ríos</p>
<p>CARGO: Ing. APOLINARIO VILLANUEVA SEBASTIAN CIP: 63298 RESIDENTE DE OBRA</p>	<p>CARGO: ÁREA DE CALIDAD</p>	<p>CARGO: SUPERVISOR TUPAC</p>	<p>CARGO: SUPERVISOR DE OBRA</p>
<p>FIRMA:</p>	<p>FIRMA:</p>	<p>FIRMA:</p>	<p>FIRMA:</p>



**JD**  
 J.D. LATIN COMPANY S.A.C.

PROYECTO:	RECONSTRUCCIÓN DEL MODERNO TERMINAL TERRESTRE DE LA CIUDAD DE PASCO - PASCO - PASCO
PROYECTISTA:	WILLIAM CAMIEL CHAVEZ LOPEZ C.A.P. 1807
UBICACIÓN:	TERMINAL TERRESTRE DE PASCO - PASCO PASCO
PROYECTO:	CONDOMINIO PASCO PASCO PASCO
ESCALA:	ARQUITECTURA
TÍTULO:	PLANTEAMIENTO GENERAL
NÚMERO:	<b>PG-A-01</b>
FECHA:	MARZO 2018

**AVENIDA INSURGENTES**

JR. SAN SEI

**INSTITUCIÓN EDUCATIVA INICIAL**

AREA

**AVENIDA PRIMERO DE MAYO**

PLANTEAMIENTO GENERAL  
 ESCALA 1:200

CONSORCIO TERMINAL PASCO

Ing. APOLINARIO VILLANUEVA SEBASTIAN  
 CIP: 63298  
 RESIDENTE DE OBRA

Ing. SANDY YARANGA CARRERA  
 AREA DE CALIDAD

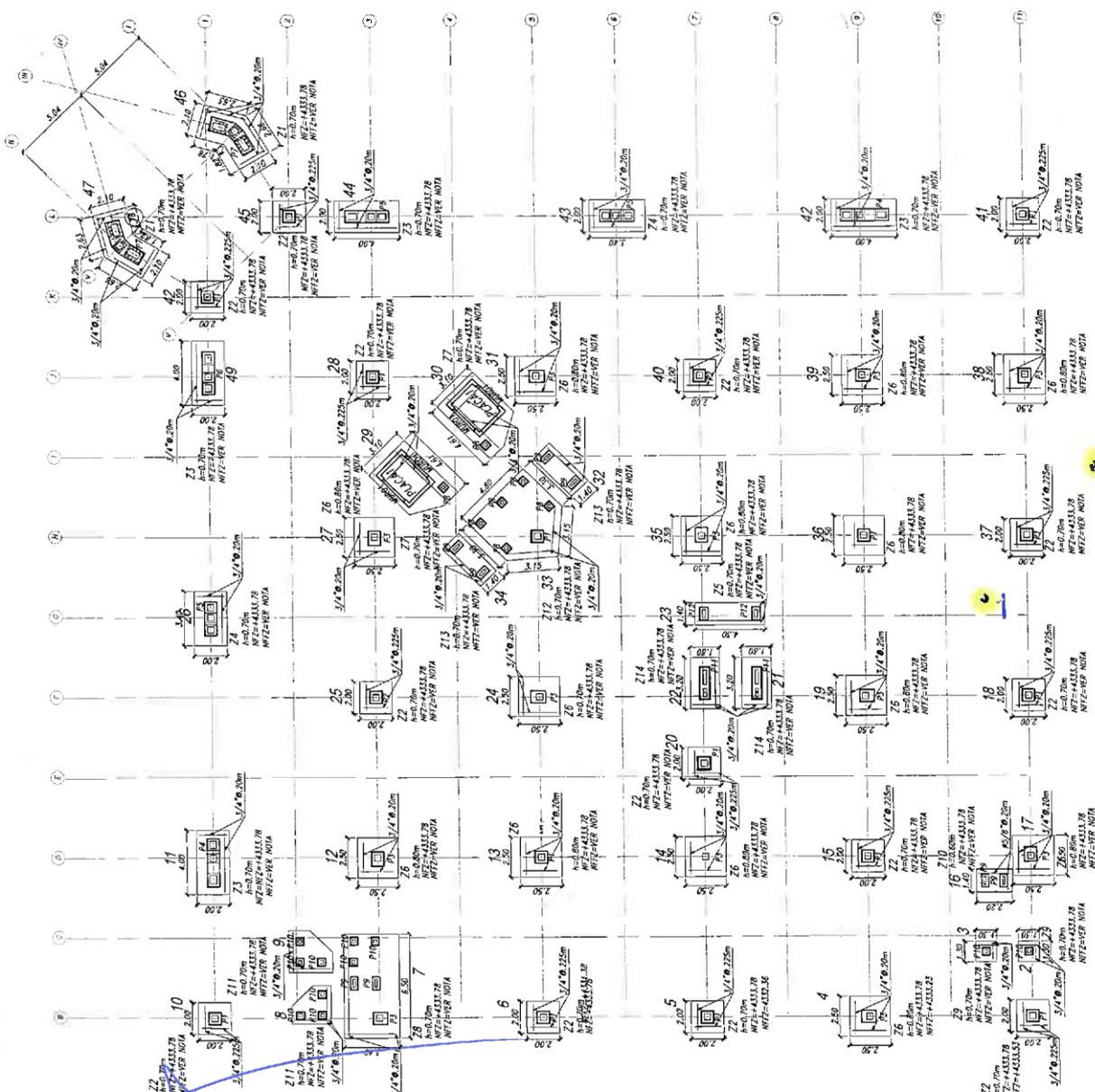
CONSEJO SUPERVISOR TUPIC

Ing. Eric Miguel Chaves Rios  
 CIP: 18307  
 SUPERVISOR DE OBRA

CONTROL DE CALIDAD  
 CONSORCIO TERMINAL PASCO  
 PASCO PASCO PASCO

 <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR</p>	<p>PROYECTO</p> <p>ENSAYO DE DENSIDAD DE CAMPO</p>		<p>CÓDIGO: PT-QC-005-07</p>
			<p>FECHA: 10/07/2023</p>
			<p>VERSION: 01</p>
			<p>PÁGINA: 1 DE 1</p>
<p>Proyecto: "CONSTRUCCIÓN DEL MODERNO TERMINAL TERRESTRE INTERPROVINCIAL DE LA CIUDAD DE CERRO DE PASCO"</p>		<p>N° Registro: 031</p>	
<p>Cilente: GOBIERNO REGIONAL DE PASCO</p>		<p>Fecha: 01/09/2023</p>	<p>REVISION:0</p>
<p>Zona: Ejes (E-H)(9-11), (H-I)(11-12)</p>		<p>Plano de Referencia: E-02</p>	
<p>Material: Pruntamo (Sautofamilia)</p>	<p>Equipo empleado: - Cono de densidad - Spredy</p>	<p>Modelo/Marca: Rumistoni</p>	
<b>DATOS</b>			
NUMERO DE ENSAYO	1	2	
UBICACIÓN DEL ENSAYO	(E-H)(9-11)	(H-I)(11-12)	
CAPA	9	9	
ESPESOR DE LA CAPA (m)	0.20	0.20	
<b>DENSIDAD</b>			
Fecha del ensayo	01/09/23	01/09/23	
Peso del frasco + arena	g 7190	7230	
Peso del frasco + arena que queda	g 1570	1620	
Peso de arena empleada	g 5620	5610	
Peso de arena en el cono	g 1640	1640	
Peso de arena en la excavación	g 3980	3970	
Densidad de la arena	g/cm³ 1.40	1.40	
Volumen del material extraído	cm³ 2842.9	2835.7	
Peso del recipiente + suelo + grava	g 7450	7450	
Peso del recipiente	g 420	420	
Peso del suelo + grava	g 7030	7030	
Densidad húmeda in-situ	g/cm³ 2.473	2.479	
Densidad seca in-situ	g/cm³ 2.351	2.341	
<b>CORRECCIÓN A LA DENSIDAD SECA Y CONTENIDO DE HUMEDAD POR PARTÍCULAS EXTRADIMENSIONADAS (ASTM D-4718)</b>			
Peso específico del material extradimensionado (ASTM C-127)	g/cm³ 2.63	2.63	
Absorción del material extradimensionado (ASTM C-127)	% 0.98	0.98	
Peso del material extradimensionado húmedo	gr 1150	900	
Peso del material extradimensionado seco	gr 1138.8	891.3	
Peso de material de fracción fina seca	gr 5541.9	5745.1	
Peso de la muestra extraída seca	gr 6680.8	6636.3	
% Material extradimensionado	% 17.0	13.4	
% Material de fracción fina	% 83.0	86.6	
Humedad de la muestra total	% 5.2	5.9	
Humedad de la fracción fina	% 6.10	6.70	
Densidad seca de la fracción fina	g/cm³ 2.301	2.302	
<b>GRADO DE COMPACTACIÓN</b>			
Máxima densidad seca (ASTM D-1557)	g/cm³ 2.32	2.31	
Óptimo contenido de humedad (ASTM D-1557)	% 5.00	5.00	
Grado de compactación	% 99.05	99.61	
<b>CONSORCIO TERMINAL PASCO</b>		<b>GOBIERNO REGIONAL DE PASCO</b>	
<b>ING. RESIDENTE</b>	<b>ESPECIALISTA (QC)</b>	<b>ESPECIALISTA (QC)</b>	<b>SUPERVISION / INSPECTOR</b>
<p>NOMBRE: CONSORCIO TERMINAL PASCO</p> <p>CARGO: Ing. APOLINARIO VILLANUEVA SEBASTIAN CIP. 63658 RESIDENTE DE OBRA</p> <p>FIRMA:</p>	<p>NOMBRE: Ing. SANDY YARANGA CARRERA</p> <p>CARGO: AREA DE CALIDAD</p> <p>FIRMA:</p>	<p>NOMBRE: [Firma]</p> <p>CARGO: [Firma]</p> <p>FIRMA:</p>	<p>NOMBRE: [Firma]</p> <p>CARGO: Ing. Miguel Chaves Ríos CIP. 185007 SUPERVISOR DE OBRA</p> <p>FIRMA:</p>

PLANO DE REFERENCIA  
 ESPECIALIDAD:  
 ESTRUCTURAS  
 PLANO:  
 CIMENTACION  
 LAMINA  
 E-02



CONSORCIO TERMINAL PASCO  
 Ing. APOLINARIO VILLANUEVA SEBASTIAN  
 CIP. 80008  
 RESIDENTE DE OBRA

Ing. SANDY YARANGA CARRERA  
 AREA DE CALIDAD

CONTROL  
 CONSORCIO SUPERVISOR TUPAC  
 SUPERVISOR DE OBRA

## 2. Ficha técnica de Equipos



# CS54B Cat®

## Compactador de Suelos Vibratorio de Tambor Liso

El modelo Cat® CS54B cuenta con un tambor liso y es ideal para aplicaciones en suelos granulares o cohesivos mediante el uso de un kit de revestimiento de pisones optativo.

### Estación del operador cómoda y ergonómica

- Cuenta con asiento giratorio con pantalla LCD multifuncional y consola de control integradas.
- Visibilidad sobresaliente de la parte delantera y de la parte trasera de la máquina.
- Bajos niveles de ruido y vibración para mayor comodidad del operador y su productividad.

### Cámara de visión trasera

- La cámara de visión trasera mejora la visibilidad para ofrecer al operador un control y una seguridad más completos.

### Sistema de propulsión excepcional

- Fabricado con el exclusivo sistema de propulsión de bomba doble Cat; las dos bombas proporcionan un flujo exclusivo hacia el motor de mando del tambor y hacia el motor del eje trasero para tener un rendimiento en pendientes y tracción excepcionales en avance y retroceso.

### Prácticamente no requiere mantenimiento

- Cojinetes del enganche sin mantenimiento.
- Intervalos prolongados de mantenimiento del sistema vibratorio y del sistema hidráulico, lo que proporciona mayor tiempo de disponibilidad y menores costos de mantenimiento.

### Rendimiento de compactación mejorado

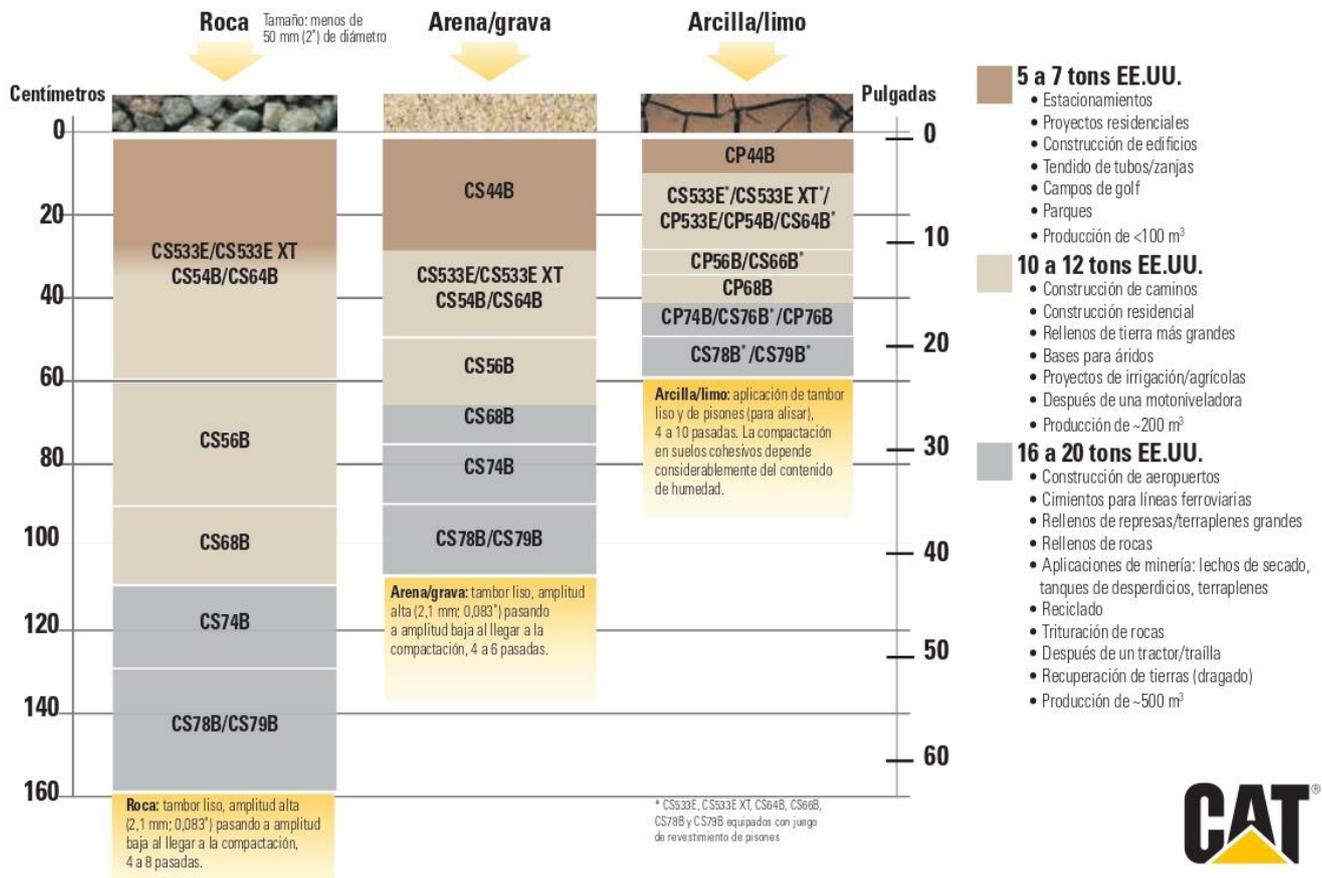
- Más peso en el tambor y mayor amplitud.
- La función de vibración automática hace que sea fácil garantizar una compactación consistente y de alta calidad.

### Control de compactación Cat

- Ayuda al operador a determinar cuándo ha finalizado la compactación según las especificaciones para aumentar la productividad y ofrecer una calidad de compactación uniforme.
- Se encuentran disponibles dos tecnologías de medición: valor de medición de compactación (CMV, Compaction Meter Value) basado en acelerómetro y la exclusiva potencia de tracción de la máquina (MDP, Machine Drive Power).

## GUÍA PARA LA SELECCIÓN DEL COMPACTADOR DE SUELOS VIBRATORIO

Se considera que la especificación de densidad es el 95 % del ensayo Proctor estándar y puede variar sustancialmente según las condiciones del suelo.



# Compactador de Suelos Vibratorio Cat® CS54B

## Especificaciones técnicas

### Motor: tren de fuerza

Modelo de motor	C4.4 Cat	
Emisiones globales	Tier 3 de la EPA de EE.UU. Stage IIIA de la Unión Europea	
Potencia bruta: ISO 14396	96,5 kW	129,4 hp
Potencia bruta: SAE J1995	97,1 kW	130,2 hp
Potencia neta: ISO 9249*	85,3 kW	114,4 hp
Potencia neta: SAE J1349*	84,3 kW	113,0 hp
Cilindrada	4,4 L	268,5"pulg <sup>3</sup>
Carrera	127 mm	5"
Calibre	105 mm	4,1"
Velocidad máx. de desplazamiento (de avance o de retroceso)	11,2 km/h	7 mph
Rendimiento teórico en pendientes, sin vibración**	55 %	

### Pesos

Peso en orden de trabajo con plataforma abierta	9.980 kg	22.002 lb
Peso en orden de trabajo con techo de acero para el sol	10.080 kg	22.223 lb
Peso en orden de trabajo con techo ROPS/FOPS	10.240 kg	22.575 lb
Peso en orden de trabajo con cabina ROPS/FOPS	10.555 kg	23.265 lb
Peso en el tambor con plataforma abierta	5.660 kg	12.478 lb
Peso en el tambor con techo de acero para el sol	5.690 kg	12.544 lb
Peso en el tambor con techo ROPS/FOPS	5.745 kg	12.666 lb
Peso en el tambor con cabina ROPS/FOPS	5.880 kg	12.959 lb

### Peso adicional con:

Kit de revestimiento de pisonos ovalados	+ 1.730 kg	+ 3.814 lb
Kit de revestimiento de pisonos cuadrados	+ 1.880 kg	+ 4.145 lb

\* La potencia neta anunciada es la potencia disponible en el volante del motor cuando está equipado con un ventilador a máxima velocidad, filtro de aire y alternador.

\*\* El rendimiento real en pendiente puede variar según las condiciones del sitio y la configuración de la máquina. Para obtener más información, consulte el Manual de Operación y Mantenimiento.

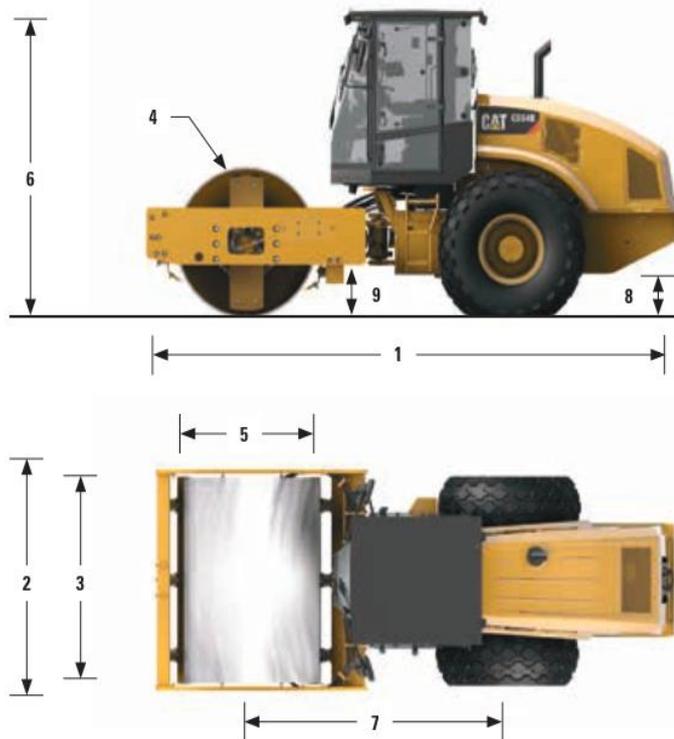
### Especificaciones del sistema vibratorio

Frecuencia		
Estándar	30,5 Hz	1.830 vpm
Durante la operación en modalidad económica	27,7 Hz	1.664 vpm
Frecuencia variable optativa	23,3 a 30,5 Hz	1.400 a 1.830 vpm
Amplitud nominal a 30,5 Hz (1.830 vpm)		
Alta	1,9 mm	0,075"
Baja	0,95 mm	0,037"
Fuerza centrífuga a 30,5 Hz (1.830 vpm)		
Máxima	234 kN	52.600 lb
Mínima	133 kN	29.900 lb
Carga lineal estática		
Con plataforma abierta	26,5 kg/cm	148,5 lb/pulg
Con techo de acero para el sol	2.636 kg/cm	149,3 lb/pulg
Con techo ROPS/FOPS	26,9 kg/cm	150,8 lb/pulg
Con cabina ROPS/FOPS	27,6 kg/cm	154,3 lb/pulg

### Capacidades de llenado de servicio

Capacidad total del tanque de combustible	242 L	64 gal EE.UU.
Sistema de enfriamiento	25,4 L	6,7 gal EE.UU.
Aceite del motor con filtro	8,5 L	2,2 gal EE.UU.
Cajas de contrapeso excéntrico	26 L	6,9 gal EE.UU.
Eje y mandos finales	18 L	4,8 gal EE.UU.
Tanque hidráulico (llenado de servicio)	50 L	13,2 gal EE.UU.

## Compactador de Suelos Vibratorio Cat® CS54B



### Dimensiones

1	Longitud total	5,85 m	19,21'
2	Ancho total	2,30 m	7,53'
3	Ancho del tambor	2.134 mm	84"
4	Grosor del revestimiento del tambor	25 mm	1"
5	Diámetro del tambor	1.534 mm	60,4"
6	Altura total máxima	3,11 m	10,2'
7	Distancia entre ejes	2,9 m	9,5'
8	Espacio libre sobre el suelo	442 mm	17,4'
9	Espacio libre vertical	543 mm	21,4'
	Radio de giro interior	3,68 m	12,07'
	Ángulo de articulación de enganche	34°	
	Ángulo de oscilación de enganche	15°	

### Especificaciones del kit de revestimiento de pisones optativo

Cantidad de pisones	120
Altura del pisón, pisones ovalados	90 mm 3,5"
Área de la superficie del pisón, pisones ovalados	63,5 cm <sup>2</sup> 9,8"pulg <sup>2</sup>
Altura del pisón, pisones cuadrados optativos	90 mm 3,5"
Área de la superficie del pisón, pisones cuadrados optativos	123 cm <sup>2</sup> 19,1"pulg <sup>2</sup>
Cantidad de salientes y entrantes curvos	16

# Compactador de Suelos Vibratorio Cat® CS54B

## Equipo optativo y estándar

El equipo optativo y estándar puede variar. Consulte con su distribuidor Cat para obtener más detalles.

	Estándar	Optativo		Estándar	Optativo
<b>ENTORNO DEL OPERADOR</b>			<b>TREN DE FUERZA</b>		
Plataforma abierta con pasamanos/barandas, alfombrilla	✓		Motor Diésel Cat C4.4	✓	
Asiento giratorio ajustable de vinilo con consola y pantalla LCD integradas	✓		Filtro de aire, elemento doble	✓	
Columna de dirección de inclinación ajustable con portavasos integrados	✓		Modalidad Eco	✓	
Cámara de visión trasera con pantalla táctil a color	✓		Dos bombas de propulsión; una para la tracción del tambor, otra para el eje trasero	✓	
Cinturón de seguridad	✓		Filtro de combustible, separador de agua, bomba de cebado, indicador de agua	✓	
Tomacorriente de 12 voltios	✓		Radiador abatible/enfriador de aceite hidráulico	✓	
Bocina de alarma de retroceso	✓		Sistema de frenado doble	✓	
Techo de acero para el sol		✓	Transmisión hidrostática de dos velocidades	✓	
Techo ROPS/FOPS		✓	Protección de la transmisión		✓
Cabina ROPS/FOPS con climatización		✓	<b>TECNOLOGÍA DE CONTROL DE COMPACTACIÓN CAT</b>		
Espejo retrovisor interno		✓	Medición: potencia de tracción de la máquina o CMV		✓
Espejos retrovisores externos		✓	Mapa: mapeo SBAS GNSS		✓
Visera		✓	Conexión: comunicación máquina a máquina		✓
Cortina parasol enrollable interna para la cabina		✓	<b>SISTEMA ELÉCTRICO</b>		
<b>SISTEMA VIBRATORIO</b>			Sistema eléctrico de 24 voltios	✓	
Tambor liso	✓		Alternador de 75 amperios	✓	
Amplitud doble y una sola frecuencia	✓		Capacidad de la batería de 750 amperios para arranque en frío	✓	
Cajas del contrapeso excéntrico encapsulado doble	✓		<b>OTRO</b>		
Función de vibración automática	✓		Product Link™	✓	
Trailla de acero delantera ajustable	✓		Mirillas para el nivel de aceite hidráulico y nivel de refrigerante del radiador	✓	
Juego de revestimiento de pisonos (pisonos ovalados o cuadrados disponibles)		✓	Válvulas de muestreo S-O-S <sup>SM</sup> : aceite del motor, aceite hidráulico y refrigerante	✓	
Frecuencia variable		✓	Paquete de luces halógenas actualizadas		✓
Traillas de acero dobles ajustables		✓	Baliza giratoria		✓
Traillas de poliuretano dobles ajustables		✓	Puerta de acceso de llenado de combustible		✓
			Embarque en contenedores		✓



Para obtener información más completa sobre los productos Cat, los servicios del distribuidor y las soluciones del sector, visite nuestro sitio web [www.cat.com](http://www.cat.com).

© 2020 Caterpillar  
Todos los derechos reservados

Los materiales y las especificaciones están sujetos a cambios sin previo aviso. Las máquinas que aparecen en las fotografías pueden incluir equipo optativo. Consulte a su distribuidor Cat para conocer las opciones disponibles.

CAT, CATERPILLAR, LET'S DO THE WORK, sus respectivos logotipos, el color "Caterpillar Corporate Yellow", la imagen comercial de "Power Edge" y Cat "Modern Hex", así como la identidad corporativa y de producto utilizadas en la presente, son marcas registradas de Caterpillar y no pueden utilizarse sin autorización.

VisionLink es una marca registrada de Trimble Navigation Limited, registrada en los Estados Unidos y en otros países.

QSHQ2463-01 (05-2020)  
Traducción (06-2020)  
Reemplaza QSHQ1651 (01-2016)  
LRC





# Motoniveladora 140 GC

## Especificaciones técnicas

Las configuraciones y las funciones pueden variar según la región. Consulte a su distribuidor Cat® para conocer la disponibilidad en su zona.

### Índice

<b>Especificaciones</b> .....	<b>2</b>
Motor .....	2
Potencia neta .....	2
Tren de potencia .....	2
Sistema hidráulico .....	2
Sistema hidráulico de transmisión .....	3
Dirección .....	3
Eje delantero .....	3
Especificaciones de funcionamiento .....	3
Peso de la máquina base .....	3
Peso de la máquina con el equipo típico .....	3
Peso de los componentes principales .....	3
Aire acondicionado .....	4
Capacidades de llenado de servicio .....	4
Tándems .....	4
Frenos de servicio .....	4
Freno de estacionamiento .....	4
Hoja vertedera .....	5
Barra de tiro, círculo, hoja vertedera .....	5
Círculo .....	5
Alcance máximo sobre el arcén desde el borde exterior de los neumáticos .....	5
Ripper .....	5
Escarificador trasero .....	5
Sistema eléctrico .....	5
Dimensiones .....	6
Configuraciones de neumáticos opcionales .....	7
Normas .....	7
<b>Equipos estándar y opcionales</b> .....	<b>8</b>
<b>Declaración medioambiental de la 140 GC</b> .....	<b>10</b>

# Especificaciones de la motoniveladora 140 GC

Motor		
Modelo de motor	Cat C7.1	
Emisiones	Estándares de emisiones Tier 4 Final de la EPA de EE. UU./Stage V de la UE y Stage IV de China para motores extraviales.	
Potencia neta: ISO 9249:2007/SAE J1349	131 kW	176 hp
Potencia neta CEE 80/1269 (DIN)	178 mhp	
Rango de potencia – Neta	131 kW-147 kW	176 hp-196 hp
Rango de potencia – Neta	178 mhp-199 mhp	
Potencia del motor Tracción en todas las ruedas (AWD)	147 kW	196 hp
Calibre	105 mm	4,1 pulg
Cilindrada	7,01 L	427,8 pulg <sup>3</sup>
Carrera	135 mm	5,3 pulg
Rev/min del motor	2.200	
Número de cilindros	6	
Aumento de par – ISO 9249:2007	33 %	
Par máximo – ISO 9249:2007	835 N·m	616 lb-ft
Par máximo – ISO 9249:2007 (AWD activada)	835 N·m	616 lb-ft
Altitud de reducción de potencia	3.000 m a 1.800 rev/min	9.842 pies a 1.800 rev/min
	1.676 m a 2.200 rev/min	5.499 a 2.200 rev/min
Máxima – Velocidad del ventilador	1.300 rpm	
Máxima – Velocidad del ventilador (AWD)	1.500 rev/min	
Máxima – Velocidad del ventilador	800 rev/min	
Capacidad estándar	43 °C	109 °F
Capacidad a altas temperaturas ambiente	50 °C	122 °F
Capacidad biodiésel	Hasta B20 <sup>(1)</sup>	

- La potencia neta se ha probado conforme a las normas ISO 9249:2007, SAE J1349 y CEE 80/1269 en vigor en el momento de fabricación.
- Potencia neta disponible en el volante cuando el motor está equipado con ventilador, filtro de aire, sistema de postratamiento y alternador con el motor a una velocidad de 2.200 rev/min.
- Velocidad nominal 2.200 rev/min

<sup>(1)</sup> Los motores diésel Cat deben utilizar ULSD (combustible diésel ultrabajo en azufre con 15 ppm de azufre o menos) o ULSD mezclado con los siguientes combustibles de menor intensidad de carbono hasta:

- ✓ 20 % de biodiésel FAME (éster metílico de ácidos grasos)\*
- ✓ 100 % de diésel renovable, HVO (aceite vegetal hidrotratado) y combustibles GTL (gas a líquido)

Consulte las directrices para su correcta aplicación. Para obtener más información, consulte a su distribuidor Cat o las "Recomendaciones de fluidos para máquinas de Caterpillar" (SEBU6250).

\*Los motores sin dispositivos de postratamiento pueden usar mezclas más altas, hasta un 100 % de biodiésel (para el uso de mezclas superiores al 20 % de biodiésel, consulte a su distribuidor Cat).

Potencia neta		
Engranaje	VHP	
Marcha adelante		
1.º	131 kW	176 hp
2.º	139 kW	186 hp
3.º	147 kW	196 hp
4.º	147 kW	196 hp
5.º	147 kW	196 hp
6.º	147 kW	196 hp
Marcha atrás		
1.º	131 kW	176 hp
2.º	139 kW	186 hp
3.º	147 kW	196 hp

Tren de potencia	
Marchas hacia adelante/atrás	6 velocidades de avance/ 3 de marcha atrás
Transmisión	Contraeje Convertidor de par Servotransmisión
Velocidad de ralentí alta	2.400 rev/min
Velocidad a ralentí bajo	800 rev/min
Filtro de aire	Seco

Sistema hidráulico		
Tipo	Abierto – Centro	
Tipo (AWD)	Cerrado – Centro	
Tipo de circuito	Paralelo	
Tipo de bomba	Pistón variable	
Potencia	24.150 kPa a 2.200 rev/min	3.503 psi at 2.200 rev/min
	0-155 L/min	0-40,9 gal/min
Caudal del sistema	0-155 L/min	0-40,9 gal/min

# Especificaciones de la motoniveladora 140 GC

## Sistema hidráulico de transmisión

Tipo	Contraeje Convertidor de par Servotransmisión	
Presión de aceite lubricante	20-90 kPA	
Tipo de bomba	Engranaje	
Suministro de embrague	78 L/min a 1.600- 1.800 kPa	20,6 gal/min a 2.321- 2.611 psi

## Dirección

Capacidad de medición nominal	159 cc/rev	
Capacidad de medición nominal (AWD)	231 cc/rev	
Ángulo máximo de dirección delantera	47,5°	
Ángulo de dirección del bastidor izquierda o derecha	20°	

## Eje delantero

Ángulo de inclinación	18° izquierda y derecha	
Oscilación	32° total	
Altura libre sobre el suelo en el centro	610 mm	24 pulg
Altura libre sobre el suelo en el centro (AWD)	616 mm	24,3 pulg

## Especificaciones de funcionamiento

Velocidad máxima de avance	41,7 km/h	25,9 mph
Velocidad máxima marcha atrás	24,0 km/h	14,9 mph
Radio de giro, neumáticos delanteros exteriores	7,8 m	25,6 pies
Rango de dirección	47,5° izquierda y derecha	
Rango de articulación	20° izquierda y derecha	
Marcha adelante		
1.º	4,7 km/h	2,9 mph
2.º	8,2 km/h	5,1 mph
3.º	10,9 km/h	6,8 mph
4.º	18,9 km/h	11,7 mph
5.º	24,0 km/h	14,9 mph
6.º	41,7 km/h	25,9 mph
Marcha atrás		
1.º	4,7 km/h	2,9 mph
2.º	10,9 km/h	6,8 mph
3.º	24,0 km/h	14,9 mph

- Velocidad de la máquina medida a 2.250 rev/min con 14.00R24 (neumáticos radiales) o 14.00-24 (neumáticos diagonales), sin deslizamiento.

## Peso de la máquina básica

Peso*	14.570 kg	32.121 lb
Eje delantero	4.080 kg	8.995 lb
Eje trasero	10.490 kg	23.126 lb

\*El peso de funcionamiento básico en la configuración estándar de la máquina se calcula con el depósito de combustible lleno, refrigerante, lubricantes, techo abierto para el operador y neumáticos 14.0R24 en llantas de una sola pieza.

## Peso de la máquina con el equipo típico\*

Peso (Stage V)**	17.650 kg	38.912 lb
Eje delantero	4.942 kg	10.895 lb
Eje trasero	12.708 kg	28.016 lb
Peso (Tier 4 Final)***	18.365 kg	40.488 lb
Eje delantero	5.142 kg	11.336 lb
Eje trasero	13.223 kg	29.152 lb
Peso (AWD) (Stage V)**	18.390 kg	40.543 lb
Eje delantero	5.517 kg	12.163 lb
Eje trasero	12.873 kg	28.380 lb
Peso (AWD) (Tier 4 Final)***	19.105 kg	42.119 lb
Eje delantero	5.732 kg	12.637 lb
Eje trasero	13.373 kg	29.482 lb

\*El peso de funcionamiento con el equipamiento típico se calcula con depósito de combustible lleno, refrigerante, lubricantes, operador, bloque de empuje, ripper trasero, neumáticos en llantas de múltiples piezas (\*\*17.5-25 diagonal/\*\*17.5R-25) y otros equipos.

## Pesos de los componentes principales

Hoja vertedera (con cuchilla)		
3.669 mm × 610 mm × 20 mm (12 pies × 24 pulg × 7/8 pulg)	660 kg	1.455 lb
3.669 mm × 610 mm × 20 mm (12 pies × 24 pulg × 7/8 pulg)	701 kg	1.545 lb
4.279 mm × 659 mm × 20 mm (14 pies × 25,9 pulg × 7/8 pulg)	819 kg	1.806 lb
Protecciones		
Transmisión	86 kg	190 lb
Guardabarros	245 kg	540 lb
Plancha de empuje	1.005 kg	2.216 lb
Ripper trasero	970 kg	2.138 lb
Hoja delantera	1.142 kg	2.518 lb

# Especificaciones de la motoniveladora 140 GC

## Aire acondicionado

El sistema de aire acondicionado de esta máquina contiene el refrigerante con gas fluorado de efecto invernadero R134a (potencial de calentamiento global = 1.430). El sistema contiene 2,0 kg de refrigerante, que tiene un equivalente de 2,86 toneladas métricas de CO<sub>2</sub>.

## Capacidades de llenado de servicio

Depósito de combustible	295 L	77,9 gal
Líquido de escape diésel (DEF)	16 L	4,2 gal
Mando del círculo	2 (STD)/7,5 (embrague deslizante)	0,5 gal/2 gal
Cárter del motor	21 L	5,6 gal
Sistema de refrigeración	40 L	10,6 gal
Sistema hidráulico	45 L	11,9 gal
Transmisión	18 L	4,8 gal
Grupo diferencial	33 L	8,7 gal

## Tándems

Oscilación hacia arriba y adelante	15°
Oscilación hacia arriba y atrás	25°

## Frenos de servicio

Tipo de sistema	Sistema hidráulico de doble circuito	
Tipo de freno	Discos múltiples de aceite	
Número de frenos	4	
Número de conjuntos de discos (cada uno)	6	
Tamaño (diámetro exterior)	355 mm	14 pulg
Tamaño (diámetro interior)	255 mm	10 pulg
Superficie de revestimiento por freno	5.749 cm <sup>2</sup>	226,3 pulg <sup>2</sup>

## Freno de estacionamiento

Tipo de sistema	Accionamiento hidráulico	
Tipo de freno	Tipo de disco	
Capacidad de retención en pendientes	Pendiente del 30 %	
Cumple la norma ISO 3540:2011		
Frenos secundarios:	Sistema de control de doble circuito, se aplica a los dos frenos de servicio	

# Especificaciones de la motoniveladora 140 GC

## Hoja vertedera

	Estándar		Opción 1		Opción 2	
Anchura	3,7 m	12 pies	3,7 m	12 pies	4,3 m	14 pies
Altura	610 mm	24 pulg	610 mm	24 pulg	659 mm	25,9 pulg
Cantonera	152 mm	6 pulg	152 mm	6 pulg	152 mm	6 pulg
Cuchilla	152 mm	6 pulg	203,2 mm	8 pulg	203,2 mm	8 pulg
Radio del arco	417 mm	16,4 pulg	417 mm	16,4 pulg	417 mm	16,4 pulg
Espacio libre entre hoja y círculo	112 mm	4,7 pulg	112 mm	4,7 pulg	112 mm	4,7 pulg

## Barra de tiro, círculo, hoja vertedera

de rango de movimiento	Estándar	
Cilindros de elevación	2	
Profundidad de corte máxima	715 mm	28,1 pulg
Elevación máxima sobre el suelo	475 mm	18,7 pulg
Espacio libre entre hoja y círculo	112 mm	4,4 pulg
Cilindro de desplazamiento central del círculo		
Desplazamiento central hacia la derecha	728 mm	28,7 pulg
Desplazamiento central hacia la izquierda	752 mm	29,6 pulg
Cilindro de desplazamiento lateral de la hoja vertedera		
Desplazamiento lateral hacia la izquierda	649 mm	25,6 pulg
Desplazamiento lateral hacia la derecha	526 mm	20,7 pulg
Cilindro de punta de la hoja		
Máximo de punta de la hoja hacia adelante	40°	
Máximo de punta de la hoja hacia atrás	5°	
Mando del círculo	Rotación de la hoja de 360°	
Barra de articulación	7 posiciones para ajustar la amplitud de movimiento de la hoja vertedera del círculo de la barra de tiro	
Zapatas de la barra de tiro	4 con bandas de desgaste reemplazables	

## Círculo

Sección	Forjado de anillo laminado
Número de dientes	64
Rotación	360°

## Alcance máximo sobre el arcén desde el borde exterior de los neumáticos: izquierda

Hoja	3,7 m (12 pies)		4,3 m (14 pies)	
Derecha	1.812 mm	71,3 pulg	2.379 mm	93,7 pulg
Izquierda	1.886 mm	74,3 pulg	2.537 mm	99,9 pulg

- Se puede conseguir un alcance adicional de 300 mm hacia la derecha o hacia la izquierda cambiando el soporte de montaje de desplazamiento lateral en la hoja de 4,3 m (14 pies).

## Ripper

Profundidad de ripado máxima	410 mm	16,1 pulg
Portavástagos del ripper	5	
Separación del portavástagos del ripper	500 mm	19,7 pulg
Aumento de la longitud de la máquina, con el portadientes levantado	1.170 mm	46,1 pulg

## Escarificador trasero

Anchura de trabajo	2.137 mm	84,1 pulg
Número de vástagos	9	
Distancia entre vástagos	250 mm	9,8 pulg
Profundidad de escarificación, máxima	275 mm	10,8 pulg

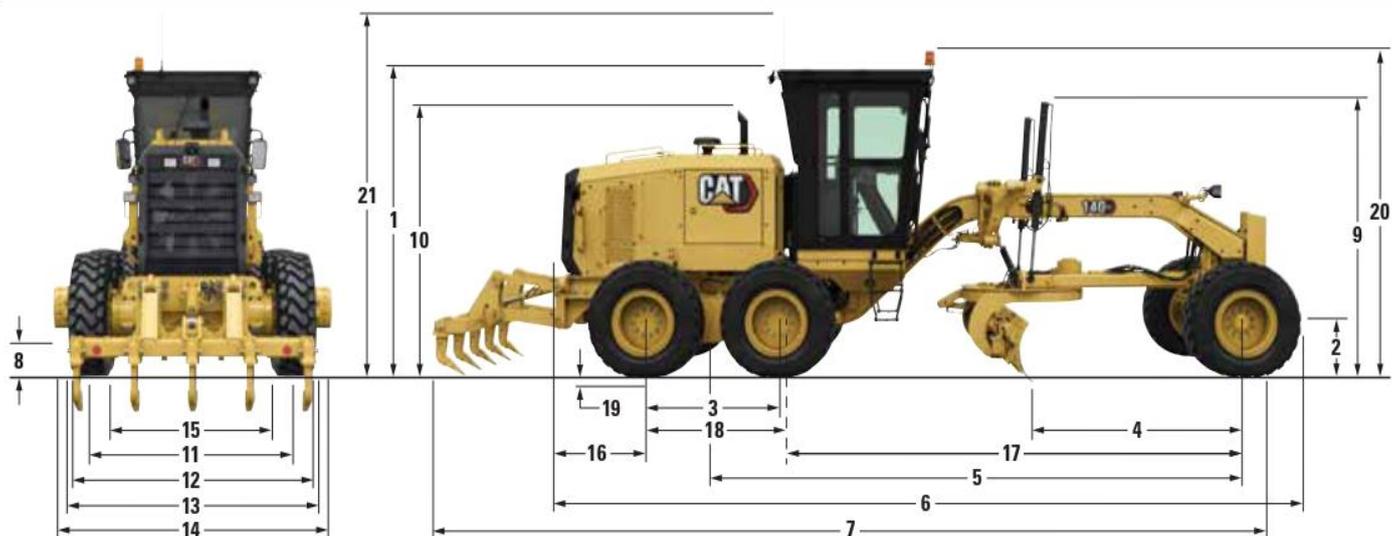
## Sistema eléctrico

Tipo de sistema de arranque	Eléctrico directo	
Batería de servicio pesado		
CCA a -18°	1.400 amp	
Voltios	12 V	
Cantidad	2	
Batería estándar		
CCA a -18°	900 amp	
Voltios	12 V	
Cantidad	2	
Alternador estándar	145 amp a 24 V	

# Especificaciones de la motoniveladora 140 GC

## Dimensiones

Todas las dimensiones son aproximadas.



<b>1</b> Altura: parte superior de la cabina	3.315 mm	130,5 pulg
Altura: parte superior de la cabina de perfil bajo	3.095 mm	121,9 pulg
<b>2</b> Altura: centro del eje delantero		
STD	600 mm	23,6 pulg
AWD	616 mm	24,3 pulg
<b>3</b> Distancia: entre los ejes del tándem	1.523 mm	60 pulg
<b>4</b> Distancia: desde el eje delantero hasta la hoja vertedera		
STD	2.535 mm	100 pulg
AWD	2.500 mm	98,4 pulg
<b>5</b> Distancia: desde el eje delantero hasta la mitad del tándem		
STD	6.137 mm	241,7 pulg
AWD	6.102 mm	240 pulg
<b>6</b> Distancia: desde los neumáticos delanteros hasta la parte trasera de la máquina		
STD	8.788 mm	346 pulg
AWD	8.735 mm	344 pulg
<b>7</b> Distancia: desde la plancha de empuje hasta el ripper	10.332 mm	406,8 pulg
<b>8</b> Altura libre sobre el suelo en el eje trasero	377 mm	14,8 pulg
<b>9</b> Altura hasta la parte superior de los cilindros	3.001 mm	118 pulg
<b>10</b> Altura hasta parte superior del tubo de escape vertical	3.184 mm	125 pulg

<b>11</b> Anchura: entre los centros de los neumáticos	2.222 mm	87,5 pulg
<b>12</b> Anchura: exterior de los neumáticos traseros	2.493 mm	98,1 pulg
<b>13</b> Anchura: exterior de los neumáticos delanteros		
STD	2.493 mm	98,1 pulg
AWD	2.638 mm	103,9 pulg
<b>14</b> Anchura: hoja delantera	2.748 mm	108 pulg
<b>15</b> Anchura: interior de los neumáticos traseros	1.777 mm	70 pulg
<b>16</b> Distancia: desde el eje trasero hasta la parte trasera de la máquina	1.976 mm	77,8 pulg
<b>17</b> Distancia: desde el eje delantero hasta el enganche de articulación		
STD	5.327 mm	209,7 pulg
AWD	5.292 mm	208,3 pulg
<b>18</b> Distancia: desde el eje trasero hasta el enganche de articulación	810 mm	31,9 pulg
<b>19</b> Altura: deflexión del neumático con peso de funcionamiento	65 mm	2,6 pulg
<b>20</b> Altura máxima – con implementos – Baliza	3.798 mm	149,5 pulg
<b>21</b> Altura máxima – con implementos – Antena	4.139 mm	163 pulg

# Especificaciones de la motoniveladora 140 GC

## Configuraciones de neumáticos opcionales

Tamaño de la llanta	Conjunto de ruedas	Neumáticos
9 × 24	Una pieza	14.00-24
10 × 24	Varias piezas	14.00-24
14 × 25	Varias piezas	17.5R25
14 × 25	Varias piezas	17.5-25

**Nota:** Consulte a su distribuidor para conocer el ancho, el tamaño y la marca específicos del neumático.

## Normas

ROPS	ISO 3471:2008 Masa máxima: 23.000 kg (50.706 lb) Cabina cerrada Masa máxima: 22.000 kg (48.502 lb) Cabina de techo
FOPS	ISO 3449:2005 nivel II
Frenos	ISO 3450:2011 Masa máxima: 23.000 kg (50.706 lb)
Dirección	ISO 5010:2007 Masa máxima: 23.000 kg (50.706 lb)
Nivel de potencia acústica exterior - ISO 6395:2008	106 dB(A)
Nivel de potencia acústica exterior - ISO 6394:2008	79 dB(A)

- El nivel de presión acústica en el exterior se ha medido según los procedimientos de prueba y condiciones especificados en la norma ISO 6395:2008. \*Las mediciones se realizaron al 70 % de la velocidad máxima del ventilador de refrigeración del motor. La máquina estaba equipada con un sistema de supresión del ruido.
- El nivel de presión acústica en el interior de la cabina se ha medido según los procedimientos de prueba y condiciones especificados en la norma ISO 6396:2008. Las mediciones se realizaron al 70 % de la velocidad máxima del ventilador de refrigeración del motor, con las puertas y ventanas de la cabina cerradas. La cabina se ha instalado y mantenido correctamente. La máquina estaba equipada con un sistema de supresión del ruido.

# Equipos estándar y opcionales de la 140 GC

## Equipos estándar y opcionales

Los equipos estándar y opcionales pueden variar. Para obtener más información, consulte a su distribuidor Cat.

	Estándar	Opcional
<b>CABINA</b>		
Asiento de vinilo	✓	
Asiento con suspensión mecánica		✓
Asiento con suspensión neumática		✓
Controles de palanca/volante ajustables	✓	
Cinturón de seguridad	✓	
Control eléctrico del acelerador	✓	
Diferencial antipatinaje	✓	
ROPS/FOPS	✓	
Sistema de calefacción/refrigeración de la cabina		✓
Ventiladores antiescarcha		✓
Limpiaparabrisas trasero		✓
Cabina base	✓	
Cab Plus		✓
Cabina de perfil bajo		✓
Almacenamiento en la cabina	✓	
Pantalla de información	✓	
Preinstalación de radio de entretenimiento	✓	
SopORTE para vasos	✓	
Luz interior de techo	✓	
Percha para abrigo	✓	
Parasol de ventanilla trasera		✓
Limpiaparabrisas delanteros	✓	
Limpiaparabrisas delanteros inferiores		✓
Medidor digital de inclinación de la hoja		✓
Product Link™		✓
<b>TREN DE POTENCIA</b>		
Cat C7.1	✓	
Modo ECO	✓	
Ventilador de actuación proporcional a la demanda	✓	
Motor de arranque para servicio pesado		✓
Capacidad estándar 43 °C (109 °F)	✓	
Transmisión con cambio automático		✓
<b>BARRA DE TIRO, CÍRCULO, HOJA VERTEDERA</b>		
Barra de tiro, círculo, hoja vertedera estándar	✓	
Embrague deslizante del mando del círculo		✓
Circle Saver		✓

(continúa en la página siguiente)

# Equipos estándar y opcionales de la 140 GC

## Equipos estándar y opcionales (continuación)

Los equipos estándar y opcionales pueden variar. Para obtener más información, consulte a su distribuidor Cat.

	Estándar	Opcional
<b>SEGURIDAD</b>		
Freno de estacionamiento	✓	
Señal/bocina de advertencia	✓	
Alarma de marcha atrás	✓	
Espejo retrovisor	✓	
Cámara de visión trasera		✓
Baliza de advertencia		✓
Frenos hidráulicos	✓	
Sistema de dirección secundario		✓
Espejos de visión lateral	✓	
Pasarelas		✓
Pasamanos	✓	
<b>SISTEMA ELÉCTRICO</b>		
Alternador sellado	✓	
Luces de marcha atrás	✓	
Panel de disyuntores	✓	
Baterías estándar de 900 CCA	✓	
Baterías de alta capacidad de 1,400 CCA		✓
Motor de arranque eléctrico	✓	
Luces traseras con iluminación LED	✓	
Luces halógenas	✓	
<b>SERVICIO Y MANTENIMIENTO</b>		
Ubicación agrupada para los filtros de aceite del motor y combustible	✓	
Refrigerante de larga duración	✓	
<b>PROTECCIONES</b>		
Guardabarros		✓
Transmisión	✓	
Cubierta, plataforma debajo de la cabina		✓
<b>VERSATILIDAD</b>		
Bloque de empuje		✓
Ripper		✓
Escarificador		✓
Hoja delantera		✓
Eganche para remolque		✓

# Declaración medioambiental de la 140 GC

La siguiente información se aplica a la máquina en el momento de su fabricación final, tal y como está configurada para su venta en las regiones contempladas en este documento. El contenido de esta declaración es válido a partir de la fecha de emisión; sin embargo, el contenido relacionado con las características y especificaciones de la máquina está sujeto a cambios sin previo aviso. Para obtener más información, consulte el Manual de funcionamiento y mantenimiento de la máquina.

Para obtener más información sobre la sostenibilidad en acción y nuestro progreso, visite <https://www.caterpillar.com/en/company/sustainability>.

## Motor

- El motor Cat® 140 GC cumple los estándares de emisiones Tier 4 Final de la EPA de EE. UU., Stage V de la UE y Stage IV de China para motores extraviales.
- Los motores diésel Cat deben utilizar ULSD (combustible diésel ultrabajo en azufre con 15 ppm de azufre o menos) o ULSD mezclado con los siguientes combustibles de menor intensidad de carbono hasta:
  - ✓ 20 % de biodiésel FAME (éster metílico de ácidos grasos)\*
  - ✓ 100 % de diésel renovable, HVO (aceite vegetal hidrotratado) y combustibles GTL (gas a líquido)

Consulte las directrices para su correcta aplicación. Para obtener más información, consulte a su distribuidor Cat o las "Recomendaciones de fluidos para máquinas de Caterpillar" (SEBU6250).

*\*Los motores sin dispositivos de postratamiento pueden usar mezclas más altas, hasta un 100 % de biodiésel (para el uso de mezclas superiores al 20 % de biodiésel, consulte a su distribuidor Cat).*

## Sistema de aire acondicionado

- El sistema de aire acondicionado de esta máquina contiene el refrigerante con gas fluorado de efecto invernadero R134a (potencial de calentamiento global = 1.430). El sistema contiene 2,0 kg (4,4 lb) de refrigerante, equivalente a 2,86 toneladas métricas (3,15 toneladas) de CO<sub>2</sub>.

## Pintura

- Según los mejores conocimientos disponibles, la concentración máxima permitida, medida en partes por millón (PPM), de los siguientes metales pesados en la pintura es:
  - Bario < 0,01 %
  - Cadmio < 0,01 %
  - Cromo < 0,01 %
  - Plomo < 0,01 %

## Nivel de ruido

Con la velocidad del ventilador de refrigeración al 70 % del valor máximo:

Nivel de potencia acústica exterior (ISO 6395:2008): 106 dB(A)

Nivel de presión acústica en los oídos del operador (ISO 6396:2008) – 79 dB(A)

- Las mediciones dinámicas del nivel de potencia acústica exterior se realizan de acuerdo con los procedimientos de ensayo dinámico especificados en la norma ISO 6395:2008. La máquina estaba equipada con un sistema de supresión del ruido.
- El nivel de presión acústica en el interior de la cabina se ha medido según los procedimientos de prueba y condiciones especificados en la norma ISO 6396:2008. Las mediciones se realizaron con las puertas y ventanillas de la cabina cerradas. La cabina se ha instalado y mantenido correctamente. La máquina estaba equipada con un sistema de supresión del ruido.

## Aceites y fluidos

- La fábrica de Caterpillar rellena con refrigerantes de etilenglicol. El refrigerante/anticongelante para motor diésel (DEAC, Diesel Engine Antifreeze/Coolant) Cat y el refrigerante de larga duración (ELC, Extended Life Coolant) Cat pueden reciclarse. Póngase en contacto con su distribuidor Cat para obtener más información.
- Cat BIO HYDO™ Advanced es un aceite hidráulico biodegradable que cuenta con la aprobación Ecolabel de la UE.
- Es posible que haya otros fluidos. Consulte el Manual de funcionamiento y mantenimiento o la Guía de aplicación e instalación para obtener recomendaciones sobre los fluidos y conocer los intervalos de mantenimiento.

## Características y tecnologías

- Las siguientes características y tecnologías pueden contribuir a un ahorro de combustible o a una reducción de las emisiones de carbono. Las características pueden variar. Consulte a su distribuidor Cat para obtener más información.
  - El modo ECO minimiza el consumo de combustible para aplicaciones ligeras
  - El temporizador de parada en vacío del motor reduce el consumo de combustible, las emisiones de gases de efecto invernadero y el tiempo de funcionamiento en vacío innecesario al apagar la máquina después de un período de funcionamiento en vacío preestablecido
  - Aumente la productividad con el control electrónico del acelerador que ajusta el par y la potencia del motor a las necesidades de la aplicación
  - Los intervalos de mantenimiento ampliados no solo reducen el tiempo de inactividad, sino también la cantidad de fluido y de filtros que deben cambiarse durante la vida útil de la máquina
  - El ventilador de actuación proporcional a la demanda reduce el consumo de combustible y el calor bajo el capó para prolongar la vida útil de los componentes
  - Mejore la eficiencia en el lugar de trabajo con menores costes de funcionamiento gracias a la información de Product Link™ y VisionLink®

Para obtener más información sobre los productos Cat, los servicios de nuestros distribuidores y las soluciones que ofrecemos para el sector, visite nuestra página web [www.cat.com](http://www.cat.com)

© 2023 Caterpillar

Reservados todos los derechos

Materiales y especificaciones sujetos a cambios sin previo aviso. Las máquinas que se muestran en este catálogo pueden incluir equipos opcionales. Consulte a su distribuidor Cat para conocer las opciones disponibles.

CAT, CATERPILLAR, LET'S DO THE WORK, sus respectivos logotipos, el color "Caterpillar Corporate Yellow", la imagen comercial de "Power Edge" y de Cat "Modern Hex", así como la identidad corporativa y de producto utilizada en el presente documento, son marcas comerciales de Caterpillar y no pueden utilizarse sin autorización. VisionLink es una marca comercial de Caterpillar Inc., registrada en Estados Unidos y en otros países.

ASX92911-02 (01-2023)  
Sustituye a ASX92911-01  
Número de versión: 01A  
(Eur, Chile, China, N Am, Turkey)



## PLANCHAS COMPACTADORAS REVERSIBLES HIDRÁULICAS

### PLANCHA CR1 HD



### PLANCHA CR3 HD



### PLANCHA CR3



EQUIPOS DISPONIBLES:	CR1 HD	CR3 HD	CR3
Peso operativo	92 Kg	203 Kg	206 Kg
Fuerza centrífuga	15 kN	35 kN	35 kN
Ancho de trabajo	350 mm	500 mm	500 mm
Dimensiones [L x A x H]	950 x 350 x 1,024 mm	1,350 x 500 x 1,060 mm	1,350 x 500 x 1,060 mm
MOTOR	HONDA GX120	HONDA GX270	HATZ DIESEL 1B20
Potencia de trabajo	3.2 HP a 3,600 rpm	9 HP a 3,600 rpm	4.8 HP a 3,600 rpm
Velocidad de marcha	0-20 m/min	0-20 m/min	0-20 m/min

### PLANCHA CR5 HD



### PLANCHA CR7 HD



ESPECIFICACIONES TÉCNICAS:	
Peso operativo	280 Kg
Fuerza centrífuga	42 kN
Ancho de trabajo	550 mm
Dimensiones [L x A x H]	1520 x 550 x 1070 mm
MOTOR	HONDA GX270
Potencia de trabajo	9 HP a 3,600 rpm
Velocidad de marcha	0 - 24 m/min

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS:	
Peso operativo	397 Kg
Fuerza centrífuga	65 kN
Ancho de trabajo	650 mm
Dimensiones [L x A x H]	1710 x 650 x 1160 mm
MOTOR	HONDA GX390
Potencia de trabajo	13 HP a 3,600 rpm
Velocidad de marcha	0 - 24 m/min

# SRV 660HD

## Vibroapisonador



**HONDA**



La nueva **SRV 660 HD**, con mejorado de marcha e impacto, la compactación será más rápida y efectiva.

Gran confort para el operador.

Con un mango de dirección delgado, así como zapata optimizada, alivian al operador. El sistema múltiple filtro de aire, compuesto por un filtro de ciclón, un pre-filtro y el filtro principal; adicionalmente al filtro del fabricante del motor, garantiza un gran funcionamiento.

### Especificaciones técnicas

Peso operativo:	70 Kg
Ancho de zapata:	220/ 280 mm
Largo de la zapata:	330 mm
Golpes por minuto:	700 golpes/min
Fuerza de impacto:	20.9 KN / golpe
Sistema de admisión:	Doble filtro de aire
Motor:	Honda GXR 120
Tiempos del motor:	4 tiempos
Potencia:	4 HP a 3600 RPM
Arranque:	Manual y retráctil
Consumo de combustible:	1 L/h
Cap. depósito de combustible:	3L

### ESTRUCTURA



1. Doble filtro de aire para proteger al motor.
2. Menor vibración para el operador.
3. Combustible utilizado: Gasolina 90 Oct.
4. Doble filtro interno de combustible.
5. Acelerador de 2 velocidades: ALTA/BAJA.
6. Nuevo motor Honda GXR 120, de 4 tiempos.
7. Fuelle angosto ideal para trabajos en zanja.
8. Pie de base con plancha metálica.
9. Servicio técnico y repuestos.



### 3. Resultados de Laboratorio de Suelos

# CONSULTORIAS, ESTUDIOS Y CAPACITACIONES EN INGENIERÍA Y CONSTRUCCIÓN

OCEDA J & G CORPORATION SOCIEDAD ANONIMA CERRADA - RUC 20600166051



## LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y CONTROL DE CALIDAD ESTUDIO DE CANTERA PARA MATERIAL DE AFIRMADO

Solicitante : INVERSIONES CONSTRUMARZ EIRL  
Obra/Proyecto : "Construcción del moderno terminal terrestre interprovincial - Pasco"  
Ubicación : Chaupimarca - Pasco - Pasco  
N° Informe : CP - 23 - 041

### DATOS

Ingreso de Muestras : 08/08/2023  
Fecha de Emisión : 11/08/2023  
Cantera : Sacrafamilia, Muestra C1 - M3  
Ensayo N° : N°01  
Estado de muestra : Alterado  
Profundidad de calicata : —

### RESUMEN DE ENSAYOS

Clasificación de Suelo : GW  
A-2-4 (0)  
Límites de Atemberg  
Limite Liquido : 23.00  
Limite Plastico : 15.00  
Indice de plasticidad : 8.00  
Proctor Modificado : MDS : 2.25 gr/cm3  
% w : 6.70%  
Desgaste los ángeles : 23.11%  
Peso especifico de la grava : 2.63 gr/cm3  
% de absorción : 1.32%

# CECIC



CONSULTORIAS, ESTUDIOS Y CAPACITACION  
EN INGENIERIA Y CONSTRUCCION

Marcial S. CANCASA BALBUENA  
INGENIERO CIVIL - CIP 138608  
JEFE DE LABORATORIO



CECIC Laboratorio y capacitaciones



APVU - Mz "II", lote 4. San Juan  
Ref. a tres cuadras del GOREPA



990270829 / 963600813



990270829 / 963600813



Capacitaciones.cic@gmail.com

# CONSULTORIAS, ESTUDIOS Y CAPACITACIONES EN INGENIERÍA Y CONSTRUCCIÓN

OCEDA J & G CORPORATION SOCIEDAD ANONIMA CERRADA - RUC 20600166051

**CECIC**

## LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y CONTROL DE CALIDAD

### ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO

ASTM D-422 / NTP 339.128 / E 107

Solicitante : INVERSIONES CONSTRUMARZ EIRL  
 Obra/Proyecto : "Construcción del moderno terminal terrestre interprovincial - Pasco"  
 Ubicación : Chaupimarca - Pasco - Pasco  
 Fecha de Ensayo : 09/08/2023  
 Fecha de Emisión : 11/08/2023  
 Cantera : Sacrafamilia, Muestra C1 - M3  
 Ensayo N° : N°01  
 N° Registro : CP5 - 23 - 41 - 01

TAMIZ Nº	DIÁMETRO (mm)	PESO RETENIDO	% RETENIDO PARCIAL	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA	LÍMITES DE CONSISTENCIA
3"	75.000	0.00	0.00	0.00	100.00	L LIQUIDO = 23.00
2"	50.000	0.00	0.00	0.00	100.00	L PLASTICO = 15.00
1 1/2"	37.500	408.9	4.29	4.29	95.71	IP = 8.00
1"	25.000	1575.9	16.54	20.84	79.16	C.C. = 1.20
3/4"	19.000	673.2	7.07	27.90	72.10	C.U. = 14.21
3/8"	9.500	1860.9	19.54	47.44	52.56	CLASIFICACION
Nº 4	4.750	1631.2	17.12	64.56	35.44	SUCS: GW
Nº 10	2.000	1616.10	16.97	81.53	18.47	AASHTO: A-2-4 (0)
Nº 40	0.425	1502.76	15.78	97.31	2.69	Grava bien graduada con arena
Nº 200	0.075	217.13	2.28	99.59	0.41	OBSERVACIONES
CAZOILETA	0.000	39.50	0.41	100.00	0.00	% grava = 64.56%
TOTAL		9525.60	100.00			% arena = 35.02%
						% de finos = 0.41%



**OBSERVACIONES.-**

- El análisis granulométrico se realizó con las muestras proveídas por el solicitante.



CONSULTORIAS, ESTUDIOS Y CAPACITACIONES EN INGENIERIA Y CONSTRUCCION

Marcos S. GARCERAN PANAICO  
 INGENIERO CIVIL - C-112608  
 JEFE DE LABORATORIO



CECIC Laboratorio y capacitaciones



APVU - Mz "II", lote 4. San Juan  
 Ref. a tres cuadras del GOREPA



990270829 / 963600813



990270829 / 963600813



Capitaciones.cic@gmail.com

# CONSULTORIAS, ESTUDIOS Y CAPACITACIONES EN INGENIERÍA Y CONSTRUCCIÓN

OCEDA J & G CORPORATION SOCIEDAD ANONIMA CERRADA - RUC 20600166051



## LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y CONTROL DE CALIDAD

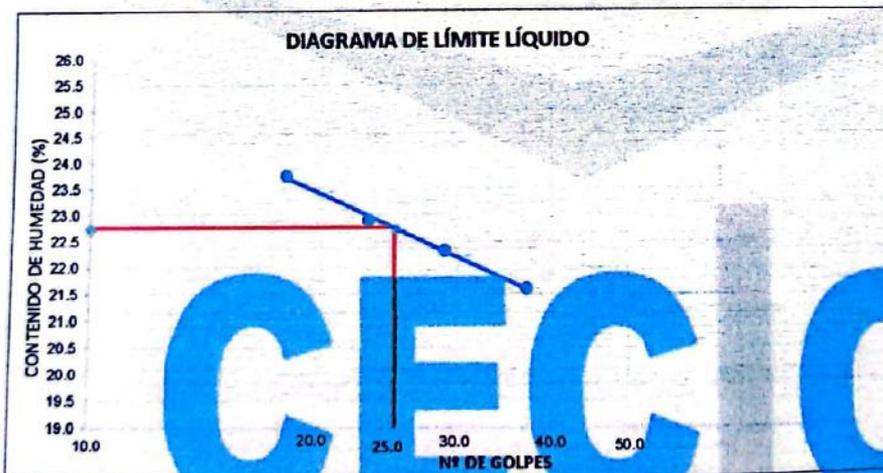
### ENSAYO DE LÍMITES DE CONSISTENCIA

ASTM D-4318 / NTP 339.129 / E110 - E 111

Solicitante : INVERSIONES CONSTRUMARZ EIRL  
 Obra/Proyecto : "Construcción del moderno terminal terrestre interprovincial - Pasco"  
 Ubicación : Chaupimarca - Pasco - Pasco  
 Fecha de Ensayo : 09/08/2023  
 Fecha de Emisión : 11/08/2023  
 Cantera : Sacrafamilia, Muestra C1 - M3  
 Ensayo N° : N°01  
 N° Registro : CP3, CP4 - 23 - 41 - 02

LÍMITE LÍQUIDO				
N° TARRO	4	14	33	12
TARRO + SUELO HÚMEDO	41.67	41.75	44.25	42.35
TARRO + SUELO SECO	36.16	36.39	38.38	37.07
CONTENIDO DE AGUA	5.51	5.36	5.87	5.28
PESO DEL TARRO	12.98	12.95	12.09	12.64
PESO DEL SUELO SECO	23.18	23.40	26.29	24.43
% DE HUMEDAD	23.77	22.91	22.33	21.61
N° DE GOLPES	18	23	29	37

LÍMITE PLÁSTICO				PROM = 15.15
N° TARRO	15	19	30	
TARRO + SUELO HÚMEDO	19.87	19.69	19.82	
TARRO + SUELO SECO	19.02	18.81	18.98	
AGUA	0.85	0.88	0.84	
PESO DEL TARRO	13.35	13.00	13.49	
PESO DEL SUELO SECO	5.67	5.81	5.49	
% DE HUMEDAD	14.99	15.15	15.30	



RESULTADOS	
LÍMITE LÍQUIDO =	23.00
LÍMITE PLÁSTICO =	15.00
ÍNDICE DE PLASTICIDAD =	8.00

OBSERVACIONES.- El ensayo se realizó con las muestras identificadas por el solicitante.



CONSULTORIAS, ESTUDIOS Y CAPACITACION EN INGENIERIA Y CONSTRUCCION

Marcial S. CANCAFA HA SUCO  
 INGENIERO CIVIL C.P. 13818  
 JEFE DE LABORATORIO



CECIC Laboratorio y capacitaciones



APVU - Mz "II", lote 4. San Juan  
 Ref. a tres cuadras del GOREPA



990270829 / 963600813



990270829 / 963600813



Capacitaciones.ccic@gmail.com

# CONSULTORIAS, ESTUDIOS Y CAPACITACIONES EN INGENIERÍA Y CONSTRUCCIÓN

OCEDA J & G CORPORATION SOCIEDAD ANONIMA CERRADA - RUC 20600166051

**CECIC**

## LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y CONTROL DE CALIDAD

### ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO

ASTM D-1557 / NTP 339.141/E 115

Cliente : INVERSIONES CONSTRUMARZ EIRL  
 Obra/Proyecto : "Construcción del moderno terminal terrestre interprovincial - Pasco"  
 Ubicación : Chaupimarca - Pasco - Pasco  
 Fecha de Ensayo : 10/08/2023  
 Fecha de Emisión : 11/08/2023  
 Cantera : Sacrafamilia, Muestra C1 - M3  
 Ensayo N° : N°01  
 N° Registro : CP8 - 23 - 41 - 03

Volumen del molde	cm <sup>3</sup>	2127	Metodo:	C	Número de Capas: 5, Golpes por Capa: 56
-------------------	-----------------	------	---------	---	---

#### DENSIDAD DE SUELO HUMEDO

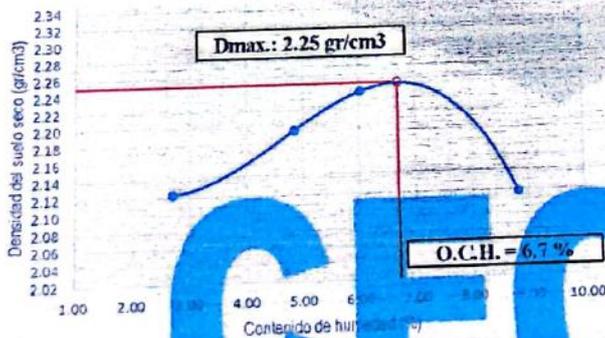
Muestra		M1	M2	M3	M4
Peso Suelo + molde	gr	7636.00		8050.00	7900.00
Peso del molde	gr	2998.00	2998.00	2998.00	2998.00
Peso suelo humedo compactado	gr	4638.00	4897.00	5052.00	4902.00
Densidad suelo humedo	gr/cm <sup>3</sup>	2.18	2.30	2.38	2.30

#### CONTENIDO DE HUMEDAD

N° Cápsula		16	4	2	5	1	12	3	9
Peso suelo humedo + tara	gr	600.67	600.91	600.35	601.95	600.06	600.25		601.11
Peso suelo seco + tara	gr	586.77	587.73	575.22	584.23	587.27	570.43		587.09
Tara	gr	84.05	88.22	85.56	84.23	86.06	82.89		83.03
Peso del agua	gr	13.90	13.18	25.13	22.53	28.79	29.82		41.86
Peso del suelo seco	gr	502.72	499.51	489.66	484.18	484.71	487.54		475.13
Contenido de humedad	%	2.76	2.64	5.13	4.56	5.94	6.12		8.78
Contenido de humedad prom	%	2.70		4.85			6.03		8.81

DENSIDAD DE SUELO SECO	gr/cm <sup>3</sup>	2.12	2.20	2.24	2.12
------------------------	--------------------	------	------	------	------

#### CURVA DE COMPACTACIÓN



#### RESULTADOS

DENSIDAD DE SUELO SECO

2.25 gr/cm<sup>3</sup>

ÓPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD

6.70%

OBSERVACIONES.- El ensayo se realizó con las muestras identificadas por el solicitante



CONSULTORIAS, ESTUDIOS Y CAPACITACIONES EN INGENIERIA Y CONSTRUCCION

MARCELO S. CANCADA HANCCO  
INGENIERO CIVIL CIP 158108  
LABORATORIO



CECIC Laboratorio y capacitaciones



APVU - Mz "II", lote 4. San Juan  
Ref. a tres cuadras del GOREPA



990270829 / 963600813

990270829 / 963600813



Capacitaciones.cic@gmail.com



# INGENIERÍA Y CONSTRUCCIÓN

OCEDA J & G CORPORATION SOCIEDAD ANONIMA CERRADA - RUC 20600166051

## LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y CONTROL DE CALIDAD

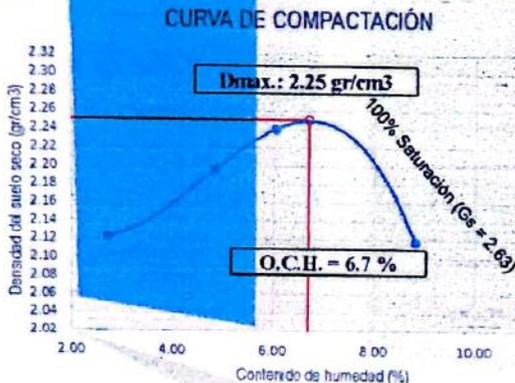
### ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO

ASTM D-1557 / NTP 339.141/E 115

Solicitante : INVERSIONES CONSTRUMARZ EIRL  
 Obra/Proyecto : "Construcción del moderno terminal terrestre interprovincial - Pasco"  
 Ubicación : Chaupimarca - Pasco - Pasco  
 Fecha de Ensayo : 10/08/2023  
 Fecha de Emisión : 11/08/2023  
 Muestra : Sacrafamilia, Muestra C1 - M3  
 N° Registro : CP8 - 23 - 041 -04

Volumen del molde	cm3	2127
Peso del molde	g	2998.00

Muestra		M1	M2	M3	M4
Densidad suelo humedo	gr/cm3	2.18	2.30	2.38	2.30
Contenido de humedad prom	%	2.70	4.85	6.03	8.81
DENSIDAD DE SUELO SECO	gr/cm3	2.12	2.20	2.24	2.12



RESULTADOS
DENSIDAD DE SUELO SECO
2.25 gr/cm <sup>3</sup>
ÓPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD
6.70%

OBSERVACIONES - El ensayo se realizo con las muestras proveidas por el solicitante.

### CORRECCIÓN DE HUMEDAD Y DENSIDAD POR MATERIAL DE SOBRE DIMENSIÓN

ASTM D-4718

Gravedad específica seca de sobre dimensión : 2.63  
 % Fracción de Sobre dimensión (P<sub>c</sub>) : 27.90  
 % Fracción fina (P<sub>f</sub>) : 72.1  
 Contenido de Humedad de la Grava : 1.32  
 Densidad Máxima Seca corregida : 2.34 g/cm<sup>3</sup>  
 Contenido Humedad Óptimo corregido : 5.20

	VARIACIONES DE GRAVA INSITU (%)					
	5	10	15	20	25	30
	95	90	85	80	75	70
	1.32	1.32	1.32	1.32	1.32	1.32
	2.27	2.28	2.30	2.32	2.33	2.35
	6.4	6.2	5.9	5.6	5.4	5.1

"X" = % de grava insitu retenida en tamiz de separación

La Máxima densidad seca corregida será tomada en función al cuadro de variación de porcentaje de grava o calculado con la ecuación presentada en el gráfico final.



OBSERVACIONES - El ensayo se realizo con las muestras proveidas por el solicitante.



CONSULTORÍAS, ESTUDIOS Y CAPACITACIONES EN INGENIERÍA Y CONSTRUCCIÓN

Margarita S. CANCAYA HANCO  
INGENIERO CIVIL - CIP 116208



CECIC Laboratorio y capacitaciones



APVU - Mz "II", lote 4. San Juan  
Ref. a tres cuadras del GOREPA



990270829 / 963600813

990270829 / 963600813



Capitaciones.cic@gmail.com



LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y CONTROL DE CALIDAD

PROTOCOLO DE PRUEBA ESTÁNDAR PARA LA DENSIDAD RELATIVA (GRAVEDAD ESPECÍFICA) Y LA  
ABSORCIÓN DE AGREGADOS GRUESOS

ASTM C 127 / NTP 400.021 / E 206

Solicitante : INVERSIONES CONSTRUMARZ EIRL  
 Obra/Proyecto : "Construcción del moderno terminal terrestre interprovincial - Pasco"  
 Ubicación : Chaupimarca - Pasco - Pasco  
 Fecha de Ensayo : 10/08/2023  
 Fecha de Emisión : 11/08/2023  
 Muestra : Sacrafamilia, Muestra C1 - M3  
 N° Registro : CP6 - 23 - 041 - 05

DATOS		1	2	3
A	Peso de la muestra seca	5054.4	4990.4	5099.9
B	Peso de la muestra saturada superficialmente seca en el aire	5123.0	4951.9	5167.8
C	Peso en el agua de la muestra saturada	3185.1	3096.4	3233.4

RESULTADOS		1	2	3
PESO ESPECIFICO DE MASA (P <sub>m</sub> )		2.61	2.63	2.64
PESO ESPECIFICO DE MASA SATURADA CON SUPERFICIE SECA (P <sub>e.S.S.S</sub> )		2.64	2.66	2.67
PESO ESPECIFICO APARENTE (P <sub>a</sub> )		2.70	2.72	2.73
PORCENTAJE DE ABSORCIÓN (%)		1.36	1.26	1.33

RESULTADOS	PROMEDIO
PESO ESPECIFICO DE MASA	2.63 gr/cm <sup>3</sup>
PESO ESPECIFICO DE MASA S.S.S	2.66 gr/cm <sup>3</sup>
PESO ESPECIFICO APARENTE	2.72 gr/cm <sup>3</sup>
PORCENTAJE DE ABSORCIÓN (%)	1.32 %

OBSERVACIONES.- El ensayo se realizo con las muestras proveidas por el solicitante.

**CECIC**



CONSULTORIAS, ESTUDIOS Y CAPACITACIONES  
EN INGENIERIA Y CONSTRUCCION

MANCADA HUANUCO  
PERU



CECIC Laboratorio y capacitaciones



APVU - Mz "II", lote 4. San Juan  
Ref. a tres cuerdas del GOREPA



990270829 / 963600813



990270829 / 963600813



Capacitaciones.cic@gmail.com

## **MATERIAL DE PRESTAMO CON FINES DE AFIRMADO**

- Solicita** : CONSORCIO SUPERVISOR TUPAC
- Obra/Proyecto** : "CONSTRUCCIÓN DEL MODERNO  
TERMINAL TERRESTRE  
INTERPROVINCIAL DE LA CIUDAD DE  
CERRO DE PASCO, PROVINCIA  
PASCO - PASCO"
- Ubicación** : Chaupimarca - Pasco – Pasco
- Cantera** : Combinación 80% : 20%  
(Cantera Orsa : Cantera Vicco)
- Nº Informe** : S - 23 – 069 (Octubre)



CCIC Capacitaciones Pasco



APVU— Mz "II", lote 4. San Juan  
Ref. a tres cuadras del GOREPA



Celular: 990270829 / 963600813



990270829 / 963600813



Correo: capacitaciones.ccic@gmail.com



LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y CONTROL DE CALIDAD

**ESTUDIO DE CANTERA PARA MATERIAL DE RELLENO CONTROLADO**

Solicitante : CONSORCIO SUPERVISOR TUPAC  
Obra/Proyecto : "CONSTRUCCIÓN DEL MODERNO TERMINAL TERRESTRE INTERPROVINCIAL DE LA CIUDAD DE CERRO DE PASCO, PROVINCIA PASCO - PASCO"  
Ubicación : Chaupimarca - Pasco - Pasco  
N° Informe : CP - 23 - 069

**DATOS**

Ingreso de Muestras : 23/10/2023  
Fecha de Emisión : 26/10/2023  
Cantera : Combinación 80% : 20% - (Cantera Orsa : Cantera Vicco)  
Ensayo N° : N°01  
Estado de muestra : Alterado  
Profundidad de calicata : ----

**RESUMEN DE ENSAYOS**

Clasificación de Suelo : GP  
A-2-4 (0)  
Límites de Aterberg  
Limite Líquido : 25.00  
Limite Plástico : 15.00  
Índice de plasticidad : 10.00



CONSULTORIAS, ESTUDIOS Y CAPACITACIONES  
EN INGENIERÍA Y CONSTRUCCIÓN

*Marceli S. GARCÍA HANCCO*  
Marceli S. GARCÍA HANCCO  
INGENIERO CIVIL - C17166608  
JEFE DE LABORATORIO



CECIC Laboratorio y capacitaciones



APVU – Mz "II", lote 4. San Juan  
Ref. a tres cuadras del GOREPA



990270829 / 963600813



990270829 / 963600813



Capitaciones.cic@gmail.com



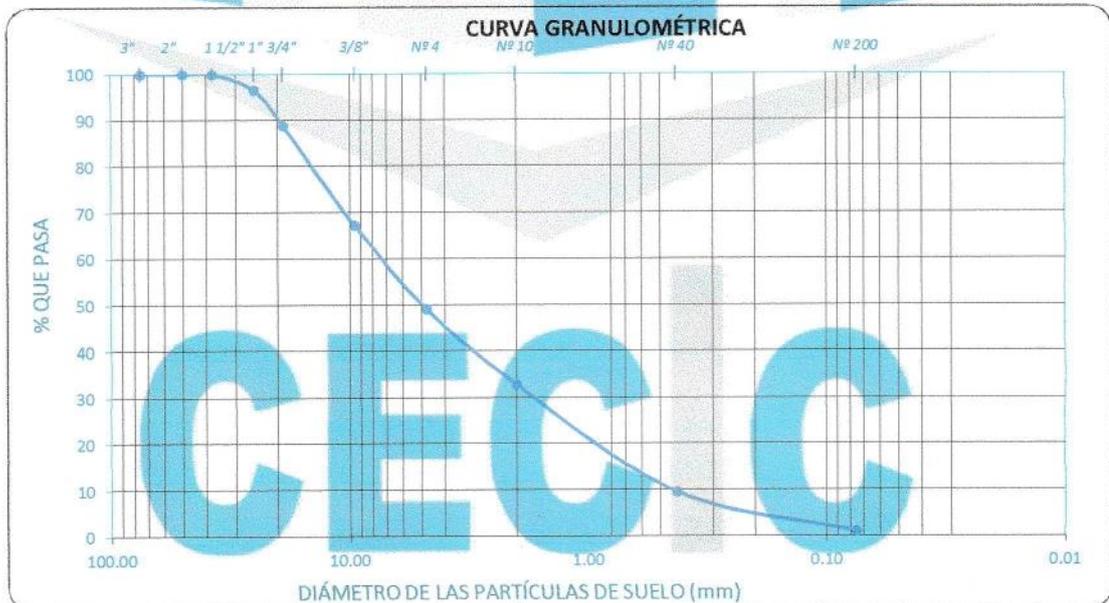
## LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y CONTROL DE CALIDAD

### ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO

ASTM D-422 / NTP 339.128 / E 107

Solicitante : CONSORCIO SUPERVISOR TUPAC  
 Obra/Proyecto : "CONSTRUCCIÓN DEL MODERNO TERMINAL TERRESTRE INTERPROVINCIAL DE LA CIUDAD DE CERRO DE PASCO, PROVINCIA PASCO - PASCO"  
 Ubicación : Chaupimarca - Pasco - Pasco  
 Fecha de Ensayo : 24/10/2023  
 Fecha de Emisión : 26/10/2023  
 Cantera : Combinación 80% : 20% - (Cantera Orsa : Cantera Vicco)  
 Ensayo N° : N°01  
 N° Registro : CP5 - 23 - 69 - 01

TAMIZ N°	DIÁMETRO (mm)	PESO RETENIDO	% RETENIDO PARCIAL	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA	LIMITES DE CONSISTENCIA
3"	75.000	0.00	0.00	0.00	100.00	L LIQUIDO = 25.00
2"	50.000	0.00	0.00	0.00	100.00	L PLÁSTICO = 15.00
1 1/2"	37.500	0.00	0.00	0.00	100.00	I.P. = 10.00
1"	25.000	309.60	3.35	3.35	96.65	C.C. = 0.87
3/4"	19.000	713.00	7.71	11.06	88.94	C.U. = 16.50
3/8"	9.500	2004.90	21.68	32.73	67.27	
N° 4	4.750	1674.00	18.10	50.83	49.17	SUCS : GP
N° 10	2.000	1502.88	16.25	67.08	32.92	AASHTO : A-2-4 (0)
N° 40	0.425	2155.10	23.30	90.38	9.62	Grava pobremente gradada con arena
N° 200	0.075	786.71	8.51	98.89	1.11	
CAZOLETA	0.000	102.85	1.11	100.00	0.00	
TOTAL		9249.04	100.00			



OBSERVACIONES.-

- \* El análisis granulométrico se realizó con las muestras proveídas por el solicitante.
- \* Las muestras fueron combinadas por el solicitante.



CONSULTORIAS, ESTUDIOS Y CAPACITACIONES EN INGENIERÍA Y CONSTRUCCIÓN

MARGOLIS CANCARRA HANCCO  
 INGENIERO CIVIL - OIP 168608  
 JEFE DE LABORATORIO



CECIC Laboratorio y capacitaciones



APVU - Mz "II", lote 4. San Juan  
 Ref. a tres cuerdas del GOREPA



990270829 / 963600813



990270829 / 963600813



Capitaciones.ccic@gmail.com

# CONSULTORIAS, ESTUDIOS Y CAPACITACIONES EN INGENIERÍA Y CONSTRUCCIÓN

OCEDA J & G CORPORATION SOCIEDAD ANONIMA CERRADA - RUC 20600166051



## LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y CONTROL DE CALIDAD

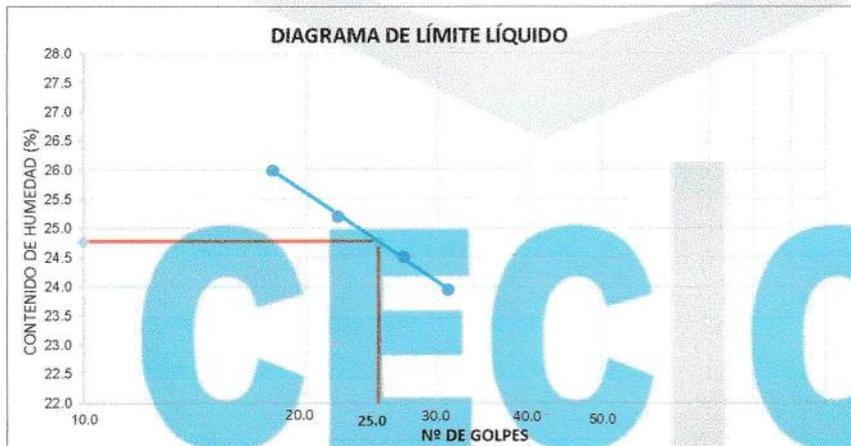
### ENSAYO DE LÍMITES DE CONSISTENCIA

ASTM D-4318 / NTP 339.129 / E110 - E 111

Solicitante : CONSORCIO SUPERVISOR TUPAC  
 Obra/Proyecto : "CONSTRUCCIÓN DEL MODERNO TERMINAL TERRESTRE INTERPROVINCIAL DE LA CIUDAD DE CERRO DE PASCO, PROVINCIA PASCO - PASCO"  
 Ubicación : Chaupimarca - Pasco - Pasco  
 Fecha de Ensayo : 24/10/2023  
 Fecha de Emisión : 26/10/2023  
 Cantera : Combinación 80% : 20% - (Cantera Orsa : Cantera Vicco)  
 Ensayo N° : N°01  
 N° Registro : CP3, CP4 - 23 - 69 - 02

LÍMITE LÍQUIDO				
N° TARRO	36	24	28	27
TARRO + SUELO HÚMEDO	38.08	40.69	37.64	36.95
TARRO + SUELO SECO	33.35	35.60	33.32	32.75
CONTENIDO DE AGUA	4.73	5.09	4.32	4.20
PESO DEL TARRO	15.16	15.41	15.70	15.22
PESO DEL SUELO SECO	18.19	20.19	17.62	17.53
% DE HUMEDAD	26.00	25.21	24.52	23.96
N° DE GOLPES	18	22	27	31

LÍMITE PLÁSTICO				
N° TARRO	33	8	16	PROM = 14.66
TARRO + SUELO HÚMEDO	18.30	17.70	17.82	
TARRO + SUELO SECO	17.50	16.89	17.01	
AGUA	0.80	0.81	0.81	
PESO DEL TARRO	12.03	11.36	11.50	
PESO DEL SUELO SECO	5.47	5.53	5.51	
% DE HUMEDAD	14.63	14.65	14.70	



RESULTADOS	
LÍMITE LÍQUIDO =	25.00
LÍMITE PLÁSTICO =	15.00
ÍNDICE DE PLASTICIDAD =	10.00

OBSERVACIONES.- El ensayo se realizó con las muestras identificadas por el solicitante.



CONSULTORIAS, ESTUDIOS Y CAPACITACIONES EN INGENIERÍA Y CONSTRUCCIÓN  
 Mónica J. CANCAYA FRANCO  
 INGENIERO CIVIL, CIP 168603  
 JEFE DE LABORATORIO



CECIC Laboratorio y capacitaciones



APVU – Mz "II", lote 4. San Juan  
 Ref. a tres cuadras del GOREPA



990270829 / 963600813



990270829 / 963600813



Capacitaciones.ccic@gmail.com

#### 4. Panel Fotográfico

**PANEL FOTOGRAFICO**

FOTOGRAFIA N° 01



FOTOGRAFIA N° 02



FOTOGRAFIA N° 03



FOTOGRAFIA N° 04



FOTOGRAFIA N° 05



FOTOGRAFIA N° 06



FOTOGRAFIA N° 07



FOTOGRAFIA N° 08



FOTOGRAFIA N° 09



FOTOGRAFIA N° 10



FOTOGRAFIA N° 11



FOTOGRAFIA N° 12



FOTOGRAFIA N° 13



FOTOGRAFIA N° 14



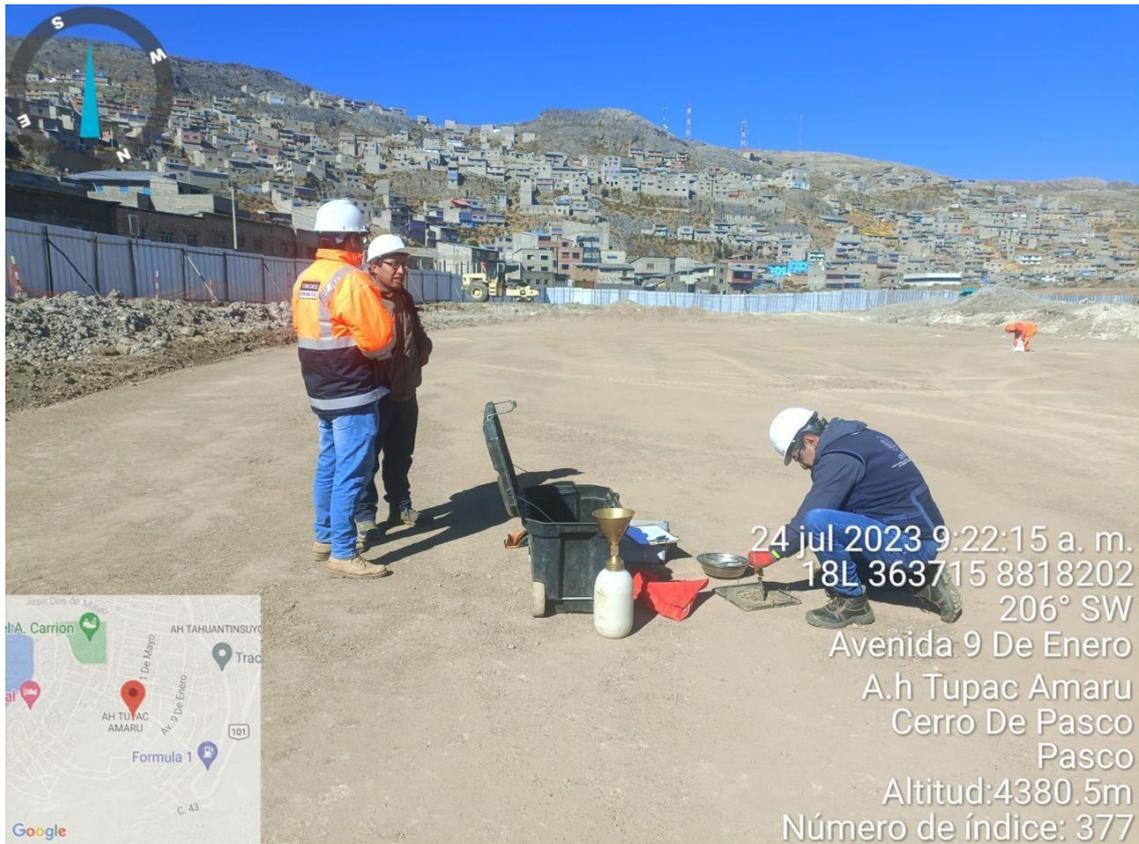
FOTOGRAFIA N° 15



FOTOGRAFIA N° 16



FOTOGRAFIA N° 17



FOTOGRAFIA N° 18



FOTOGRAFIA N° 19



FOTOGRAFIA N° 20

