

FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de **INGENIERÍA CIVIL**

“ADICIÓN DE CAL PARA ESTABILIZACIÓN DE  
SUBRASANTE EN EL DISEÑO DE PAVIMENTOS  
RÍGIDOS EN UN DISTRITO DEL NORTE DEL  
PERÚ”

Tesis para optar el título profesional de:

**INGENIERA CIVIL**

**Autora:**

Maria Adela Sanchez Sandoval

**Asesor:**

Mg. Jose Luis Neyra Torres

<https://orcid.org/0000-0002-6470-2998>

Lima - Perú

### JURADO EVALUADOR

Jurado 1 Presidente(a)	<b>EDMUNDO VERAU MIRANDA</b>	<b>10557797</b>
	Nombre y Apellidos	Nº DNI

Jurado 2	<b>ERICK HUMBERTO RABANAL CHAVEZ</b>	<b>42009981</b>
	Nombre y Apellidos	Nº DNI

Jurado 3	<b>NEICER CAMPOS VASQUEZ</b>	<b>42584435</b>
	Nombre y Apellidos	Nº DNI

## INFORME DE SIMILITUD

### Document Information

Analyzed document	TESIS SANCHEZ SANDOVAL MARIA ADELA - VF.pdf (D159641493)
Submitted	2/27/2023 10:47:00 PM
Submitted by	JOSE LUIS NEYRA TORRES
Submitter email	jose.neyra@upn.edu.pe
Similarity	8%
Analysis address	jose.neyra.delnor@analysis.arkund.com

### Sources included in the report

<b>SA</b>	<b>Universidad Privada del Norte / TF_Taller de Tesis 2_Aviles Gutierrez Luis Felipe_Lopez Vargas Julio Cesar.docx</b> Document TF_Taller de Tesis 2_Aviles Gutierrez Luis Felipe_Lopez Vargas Julio Cesar.docx (D151884184) Submitted by: alexandra.hinostroza@upn.pe Receiver: alexandra.hinostroza.delnor@analysis.arkund.com	 19
<b>SA</b>	<b>UCP_INGENIERIA CIVIL_2021_PERSEORAMIREZ_EPIFANIOGUERRA_V1.pdf..pdf</b> Document UCP_INGENIERIA CIVIL_2021_PERSEORAMIREZ_EPIFANIOGUERRA_V1.pdf..pdf (D107915271)	 1
<b>SA</b>	<b>TFM LETICIA LÓPEZ LÓPEZ_ FEBRERO 2021.pdf</b> Document TFM LETICIA LÓPEZ LÓPEZ_ FEBRERO 2021.pdf (D95412427)	 7
<b>SA</b>	<b>Universidad Privada del Norte / TESIS SANTILLAN Y DONAIRES.pdf</b> Document TESIS SANTILLAN Y DONAIRES.pdf (D149099211) Submitted by: german.sagastegui@upn.edu.pe Receiver: german.sagastegui.delnor@analysis.arkund.com	 2
<b>SA</b>	<b>Universidad Privada del Norte / TESIS_KATERIN_JHONY CORREGIDO.pdf</b> Document TESIS_KATERIN_JHONY CORREGIDO.pdf (D119121447) Submitted by: german.sagastegui@upn.edu.pe Receiver: german.sagastegui.delnor@analysis.arkund.com	 2
<b>W</b>	URL: <a href="https://repositorioacademico.upc.edu.pe/bitstream/handle/10757/653996/Diaz_AE.pdf.txt?session...">https://repositorioacademico.upc.edu.pe/bitstream/handle/10757/653996/Diaz_AE.pdf.txt?session...</a> Fetched: 1/21/2023 4:53:52 AM	 1
<b>SA</b>	<b>Universidad Privada del Norte / TESIS FINAL PARA PRESENTAR (1).pdf</b> Document TESIS FINAL PARA PRESENTAR (1).pdf (D140748926) Submitted by: german.sagastegui@upn.edu.pe Receiver: german.sagastegui.delnor@analysis.arkund.com	 1
<b>SA</b>	<b>Universidad Privada del Norte / TESIS FINAL REYES ASTO, ESCOBAR BLAS.pdf</b> Document TESIS FINAL REYES ASTO, ESCOBAR BLAS.pdf (D134396111) Submitted by: german.sagastegui@upn.edu.pe Receiver: german.sagastegui.delnor@analysis.arkund.com	 1

## **DEDICATORIA**

A mi madre y familia por el gran apoyo incondicional que me brindaron para poder  
llegar lejos, ya sea como persona y profesionalmente.

## **AGRADECIMIENTO**

Primero a Dios por el don de la perseverancia y la Fe en mí misma, a los docentes  
por la enseñanza que me brindaron en los años de estudios.

**TABLA DE CONTENIDO**

JURADO EVALUADOR	2
INFORME DE SIMILITUD	3
DEDICATORIA	4
AGRADECIMIENTO	5
TABLA DE CONTENIDO	6
ÍNDICE DE TABLAS	8
ÍNDICE DE FIGURAS	9
RESUMEN	11
ABSTRACT	12
CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN	13
<b>1.1. Realidad problemática</b>	<b>13</b>
<b>1.2. Formulación del problema</b>	<b>21</b>
<b>1.3. Objetivos</b>	<b>21</b>
<b>1.4. Hipótesis</b>	<b>22</b>
<b>1.5. Justificación</b>	<b>22</b>
<b>1.6. Limitaciones</b>	<b>23</b>
CAPÍTULO II: METODOLOGÍA	24
<b>2.1. Tipo de investigación</b>	<b>24</b>
<b>2.2. Operacionalización de variables</b>	<b>24</b>
<b>2.3. Población y muestra</b>	<b>27</b>
<b>2.4. Materiales, instrumentos y métodos</b>	<b>27</b>

<b>2.5.</b>	<b>Procedimiento</b>	<b>29</b>
<b>2.6.</b>	<b>Análisis estadístico</b>	<b>29</b>
<b>2.7.</b>	<b>Aspectos éticos</b>	<b>30</b>
CAPÍTULO III: RESULTADOS		31
CAPÍTULO IV: DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES		86
REFERENCIAS		91
ANEXOS		94

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Propiedades de suelos estabilizados con cal.....	18
Tabla 2 Resultados del conteo vehicular .....	31
Tabla 3 Flujo vehicular 22/08/2022 turno mañana.....	33
Tabla 4 Flujo vehicular 22/08/2022 turno tarde .....	34
Tabla 5 Flujo vehicular 23/08/2022 turno mañana.....	35
Tabla 6 Flujo vehicular 23/08/2022 turno tarde .....	36
Tabla 7 Flujo vehicular 27/08/2022 turno mañana.....	37
Tabla 8 Flujo vehicular 27/08/2022 turno tarde .....	38
Tabla 9 Clasificación de suelos .....	51
Tabla 10 Resultados Proctor calicata C-1.....	64
Tabla 11 Resultados Proctor calicata C-2.....	64
Tabla 12 Resultados Proctor calicata C-3.....	65
Tabla 13 Resultados CBR del suelo natural y con adición de cal para subrasante..	78
Tabla 14 Resumen CBR de muestras y CBR de diseño .....	79
Tabla 15 Frecuencias observadas .....	80
Tabla 16 Estadísticos de prueba.....	80
Tabla 17 Datos para diseño de pavimento rígido con subrasante natural.....	81
Tabla 18 Datos para diseño de pavimento rígido con subrasante de suelo +5% cal	83
Tabla 19 Comparativo de pavimento rígido .....	85

**ÍNDICE DE FIGURAS**

Figura 1 Categorías de subrasante .....	19
Figura 2 Estructura de un pavimento rígido .....	20
Figura 3 Perfil estatigráfico C-1 .....	40
Figura 4 Perfil estatigráfico C-2 .....	41
Figura 5 Perfil estatigráfico C-3 .....	42
Figura 6 Análisis granulométrico calicata C-1 .....	43
Figura 7 Contenido de humedad C-1 .....	44
Figura 8 Análisis granulométrico calicata C-2 .....	45
Figura 9 Contenido de humedad C-2 .....	46
Figura 10 Análisis granulométrico calicata C-3 .....	47
Figura 11 Contenido de humedad C-3 .....	48
Figura 12 Humedad natural del suelo .....	49
Figura 13 Muestra gráfica de ensayos de análisis del suelo .....	50
Figura 14 Ensayo Proctor para suelo natural calicata C-1 .....	52
Figura 15 Ensayo Proctor para suelo natural + 5% cal, calicata C-1 .....	53
Figura 16 Ensayo Proctor para suelo natural + 10% cal, calicata C-1 .....	54
Figura 17 Ensayo Proctor para suelo natural + 15% cal, calicata C-1 .....	54
Figura 18 Ensayo Proctor para suelo natural calicata C-2 .....	55
Figura 19 Ensayo Proctor para suelo natural + 5% cal, calicata C-2 .....	57
Figura 20 Ensayo Proctor para suelo natural + 10% cal, calicata C-2 .....	57
Figura 21 Ensayo Proctor para suelo natural + 15% cal, calicata C-2 .....	59
Figura 22 Ensayo Proctor para suelo natural calicata C-3 .....	60
Figura 23 Ensayo Proctor para suelo natural + 5% cal, calicata C-3 .....	61

Figura 24 Ensayo Proctor para suelo natural + 10% cal, calicata C-3.....	62
Figura 25 Ensayo Proctor para suelo natural + 15% cal, calicata C-3.....	63
Figura 26 Muestra gráfica de ensayos Proctor.....	64
Figura 27 Muestra gráfica de ensayos CBR .....	65
Figura 28 Ensayo CBR calicata C-1, suelo natural .....	66
Figura 29 Ensayo CBR calicata C-1, suelo+5% cal .....	67
Figura 30 Ensayo CBR calicata C-1, suelo+10% cal .....	68
Figura 31 Ensayo CBR calicata C-1, suelo+15% cal .....	69
Figura 32 Ensayo CBR calicata C-2, suelo natural .....	70
Figura 33 Ensayo CBR calicata C-2, suelo+5% cal .....	71
Figura 34 Ensayo CBR calicata C-2, suelo+10% cal .....	72
Figura 35 Ensayo CBR calicata C-2, suelo+15% cal .....	73
Figura 36 Ensayo CBR calicata C-3, suelo natural .....	74
Figura 37 Ensayo CBR calicata C-3, suelo+5% cal .....	74
Figura 38 Ensayo CBR calicata C-3, suelo+10% cal .....	76
Figura 39 Ensayo CBR calicata C-3, suelo+15% cal .....	77
Figura 40 Comparativo de CBR al 95% de MDS.....	78
Figura 41 Comparativo de CBR al 100% de MDS.....	79
Figura 42 Estructura del pavimento con subrasante de material natural .....	82
Figura 43 Estructura del pavimento con subrasante de suelo+5% cal.....	84

## RESUMEN

La investigación realizada se orientó al objetivo de determinar el efecto de la adición de cal en la subrasante natural en el diseño de pavimentos rígidos en un distrito del norte del Peru, considerando la necesidad de experimentar procesos de estabilización de suelos para garantizar su óptimo rendimiento con subrasantes en los pavimentos; para lo cual se utilizó una metodología experimental con el uso de tres calicatas que permitieron la caracterización del suelo en la vía en estudio, obteniendo como resultados que las vías estudiadas tienen un moderado flujo vehicular; los suelos se caracterizan por texturas, arena limosa con grava, arena pobremente graduada con limo y grava y grava arcillosa con arena; obteniendo un CBR promedio de 13% al 95% de MDS y con la adición de cal al 5%, alcanza los promedios de 20.73% de CBR al 95% de MDS; con lo cual se ha diseñado un pavimento rígido de una losa de concreto de  $f'c=280$  kg/cm<sup>2</sup>, de espesor de 0.20 m y una subbase granular de espesor igual a 0.15 m, compactado al 100% de MDS; concluyendo que la adición de cal al suelo natural mejora las condiciones de calidad en la subrasante para el diseño de pavimentos rígidos en la zona de estudio.

**PALABRAS CLAVES:** Suelo natural, cal, subrasante, pavimento rígido

## ABSTRACT

The investigation carried out was oriented towards the objective of determining the effect of adding lime to the natural subgrade in the design of rigid pavements in a district of northern Peru, considering the need to experiment with soil stabilization processes to guarantee its optimal performance. with subgrades in the pavements; for which an experimental methodology was used with the use of three pits that allowed the characterization of the soil on the road under study, obtaining as results that the roads studied, have a moderate vehicular flow; the soils are characterized by textures, silty sand with gravel, poorly graded sand with silt and gravel, and clayey gravel with sand; obtaining an average CBR of 13% at 95% MDS and with the addition of 5% lime, it reaches averages of 20.73% CBR at 95% MDS; with which a rigid pavement of a concrete slab of  $f'c=280$  kg/cm<sup>2</sup>, with a thickness of 0.20 m and a granular sub-base with a thickness equal to 0.15 m, compacted to 100% MDS; concluding that the addition of lime to the natural soil improves the quality conditions in the subgrade for the design of rigid pavements in the study area.

**KEY WORDS:** Natural soil, lime, subgrade, rigid pavemen

## CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

### 1.1. Realidad problemática

Los procesos de deformación se sufren en las distintas capas de la estructura de un pavimento, que incluye a la subrasante, son una preocupación constante, en virtud que los factores causales de las deformaciones tienen diversos orígenes, por ello, desde los organismos encargados de garantizar la conservación de las vías de comunicación en los diversos gobiernos del mundo, existe la preocupación por que en la elaboración de los proyectos de pavimentos se realicen con la seguridad necesaria los estudios de diseño, procurando el uso de materiales de calidad y debidamente seleccionados.

En el Perú, el Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2014) ante las diversas condiciones de los suelos, tiene normado los procesos de estabilización por combinación o sustitución de suelos en el diseño de pavimentos, entre estas alternativas considera el uso de la cal, ya que los estudios consideran que en la mezcla del suelo con la cal, se generan reacciones químicas que favorecen la plasticidad del suelo, principalmente en aquellos caracterizados por su composición de granulometría fina, además que incrementa la humedad óptima de compactación, como alternativa para suelos de elevada humedad.

En el caso de unos de los distritos del norte del Peru, la condición del suelo se ha visto alterada en los últimos años ante la presencia de fenómenos naturales que han generado, según INDECI (2003) un significativo volumen de precipitaciones como causales de deslizamientos e inundaciones que han afectado a zonas urbanas y rurales, ante lo cual, se hace necesario estudios de las condiciones de los suelos para la propuesta de alternativas que brinden mejores condiciones a la subrasante en los procesos de construcción de pavimentos.

A este propósito se orienta la presente investigación con la propuesta de adición de cal a la sub rasante para la estabilización de los suelos en el diseño de pavimentos.

### **Antecedentes internacionales**

El estudio de Watson y Manrique (2021) en Nueva Granada, donde evalúan las estructuras de un pavimento con contenido de cal, comparativamente con adición de cemento en la subrasante, teniendo como conclusiones que la subrasante en el tratamiento con cal ha incrementado el módulo de resiliencia en procesos de experimentación con adición de 3% y 6%, como indicadores de desempeño positivo en el tratamiento; en cuanto al análisis económico, se evidencia que la subrasante con tratamiento de Cal, incrementa sus valores de manera proporcional al porcentaje de adición de cal, sin embargo, en el comparativo con el tratamiento con cemento, el uso de la cal muestra menores costos, sin que tenga relación alguna los espesores del diseño.

Hernández et al (2016) desarrollaron una investigación para analizar la estabilización de suelos arcillosos en pavimentos rígidos en El Salvador, con procesos experimentales de una investigación aplicada, llegando a concluir que adicionando cal al suelo natural se logró el incremento de la capacidad de soporte (CBR), estando en condiciones de cumplir con los requisitos mínimos para su uso como subrasante, lo cual se logra con la adición de 5% de cal con referencia al peso del suelo en estado natural, obteniendo un incremento de 1.93% en el valor de soporte al 54.00%; asimismo la incorporación de cal permite la reducción del 45% a 0% en el índice de plasticidad, reduciendo en el 88% el hinchamiento.

Ulloa (2015) desarrolló una investigación donde experimentó la estabilización de suelos cohesivos mediante la adición de Cal en Managua-Nicaragua, obteniendo como

conclusión que en el caso de los suelos de clasificación A-7-6, luego de evaluar sus propiedades y con la aplicación de cal, se logró mejorar significativamente la plasticidad, densidad de compactación; asimismo se experimentó un incremento de la humedad, como producto de la reacción exotérmica en la mezcla de cal con la arcilla; en suma, se observó un aumento significativo de la capacidad de soporte del suelo. Esto con la adición del 9% de cal al suelo.

### **Antecedentes nacionales**

Moale y Rivera (2022) realizaron una investigación aplicada para determinar la estabilización con cal de suelos para uso como subrasante, en una localidad de Pasco; luego de los ensayos de laboratorio, concluyen que con la incorporación de cal al 15% en el suelo natural se obtiene un aumento en el 78.8% del CBR, llegando a un CBR de suelo estabilizado de 5.9%; asimismo, los valores de máxima densidad seca se reducen en la medida en que se aumenta los porcentajes de cal; en cuanto al espesor del pavimento a diseñar, esta magnitud disminuye en un 15.4% en el comparativo con el diseño de una estructura de pavimento en suelo natural sin proceso de estabilización. En términos económicos, el costo del suelo estabilizado con cal se reduce al estar ante la necesidad de menor corte del terreno.

Angulo (2014), desarrollo una investigación para evaluar la estabilización de subrasantes con adición de cal, tesis de pre grado; en el proceso experimental se agregó cal en porcentajes determinados en base al peso del suelo seco, concluyendo que la adición de cal permitió disminuir los índices de plasticidad del suelo, aumentó el CBR y generó la creación de una capa de protección contra el agua por efecto de la capilaridad, pasando de

ser un suelo de baja calidad a buena calidad para su uso como subrasante para el diseño de pavimentos.

Las precisiones conceptuales que sustentan la investigación, parten del estudio de la cal como material utilizado en la construcción; Jover et al (2016) reconoce que en las técnicas constructivas la cal fue producida para su uso como material aglomerante desde épocas prehistóricas, donde ya se suponía de sus propiedades para la durabilidad, impermeabilización y hasta salubridad en las edificaciones; la cal es el resultado de un proceso de calcinación en hornos a altas temperaturas de la piedra caliza, para ser usada en condición viva, hidratada o apagada, como una sustancia alcalina que al tacto es bastante liso, pero de alta dureza, con una apariencia de color blanquecino, o también gris o amarillento.

Entre los tipos de cal que existen, la cal viva, según Ruano (2012) es el material que se obtiene de la calcinación de la piedra caliza que luego de desprender anhídrido carbónico, llega a transformarse en óxido de calcio, teniendo la capacidad de poderse combinar con agua, para lograr su transformación de óxido a hidróxido, y cuando llega a apagarse, se le conoce como cal hidratada, para su aplicación en la construcción.

En los procesos de estabilización de suelos, el uso de la cal es aplicable en diversos casos: cuando el suelo de la subrasante presenta condiciones desfavorables, o son demasiado arenosos, o bastante arcillosos; cuando los materiales para la base o subbase se encuentran en el límite de especificaciones según las normas técnicas; cuando las condiciones de humedad así lo exijan; o, cuando se necesite de una base de superior calidad superior para pavimentos especiales (Ruano, 2012).

En el uso de la cal para la estabilización se obtienen diversas propiedades que son reconocidas por el MTC (2014) como: la reducción del índice de plasticidad, como resultado de la disminución del límite líquido y el aumento del límite plástico; la disminución significativa del ligante natural del suelo ante la aglomeración de partículas; el logro de un material con mayor trabajabilidad y confiable, producto de la disminución del contenido de agua en el suelo; la aceleración del proceso de compactación al secar el suelo húmedo; la disminución del potencial de hinchamiento y contracción; el aumento de la trabajabilidad resistencia a la comprensión simple y a la tracción del suelo, así como de su capacidad portante; y, la formación de una barrera de impermeabilización que impide la penetración del agua de lluvia, o de aguas subterráneas mediante el ascenso capilar.

Así también el MTC (2014) reconoce que la experiencia americana en los procesos de estabilización con cal ha mostrado resultados excelentes en los casos de suelos con una composición de arcilla y grava para ser usado como capa superficial granular, mediante la incorporación de 2% a 4% de hidróxido de calcio  $[Ca(OH)_2]$ . También se reconoce altos resultados en suelos de alto contenido de arcilla, para ser usados como capa superficial granular superficial con adición del 5% a 10% de cal, o como capa inferior del 1% a 3% de cal, en relación al peso.

En las especificaciones técnicas que se deben cumplir para la estabilización de suelos con la aplicación de cal, el MTC (2013) establece que el suelo a estabilizar puede ser material de afirmado, producto de escarificación de la capa superficial, o ser suelo natural producto de: excavaciones o préstamo, agregados, o una mezcla de ambos. Para para la mezcla de suelo-cal se podrá utilizar cal viva o hidratada y debe cumplir con los requisitos determinados en la las normas AASHTO M-216 o ASTM C-977.

La mezcla de suelo-cal, antes de su compactación, debe cumplir ciertos requisitos: la humedad debe ser la óptima para la compactación, en una tolerancia de  $\pm 1,5\%$ ; al culminar el mezclado, el 60% del peso de mezcla, sin incluir los fragmentos de grava y piedra, debe pasar la Malla N.º 4; la proporción de cal en la mezcla no debe variar en 5% por exceso o defecto, de la cantidad de cal por  $M^3$  de mezcla; y, la verificación de calidad de mezcla con ensayos C.B.R. conforme a lo indicado en Tabla 1.

**Tabla 1** *Propiedades de suelos estabilizados con cal*

Material o Producto	Propiedades y Características	Método de ensayo	Frecuencia	Lugar de muestreo	
Suelo Estabilizado con Cal	Granulometría	MTC E 107	750 m <sup>3</sup>	Pista	
	Índice plástico	MTC E 111	750 m <sup>3</sup>	Pista	
	Relación densidad-humedad	MTC E 115	750 m <sup>3</sup>	Pista	
	CBR	MTC E 132	500 m <sup>3</sup>	Pista	
	Compactación		MTC E 117	Cada 250 m <sup>3</sup>	Pista
			MTC E 124		
	Abrasión	MTC E 207	2000 m <sup>3</sup>	Cantera	
	Materia orgánica	AASHTO T 194	2000 m <sup>3</sup>	Cantera	
Durabilidad (1)	MTC E 209	2000 m <sup>3</sup>	Cantera		

Nota: (1) Para zonas con altitud mayor a 3.000 msnm, Fuente: MTC (2013)

Con referencia a la subrasante como elemento componente de la estructura de un pavimento, Becerra (2012) la considera como la capa del pavimento, que cumple la función de recibir las cargas provenientes de la base o subbase, para ser distribuidas de manera adecuada a las capas inferiores del pavimento; cumple además la función de dar soporte al pavimento, lo cual implica que es necesario la evaluación de las propiedades del suelo para llevar un control de calidad adecuado.

Para la determinación de las características físico-mecánicas de los materiales componentes de la sub rasante se deberán realizar ensayos a través de la excavación de calicatas de 1.5 metros de profundidad mínima, en un número mínimo establecido en las normas técnicas en base al tipo de Carretera establecido en el Perú en la RD 037-2008-MTC/14 y los requisitos del Manual de Ensayo de Materiales del MTC (2016).

Para la medición de la resistencia al esfuerzo cortante de un suelo, el ensayo CBR permite la comparación del comportamiento del suelo con la calidad estándar de una roca chancada, El procedimiento establecido para la realización de los ensayos CBR, está establecido en Norma MTC E.132

**Figura 1** *Categorías de subrasante*

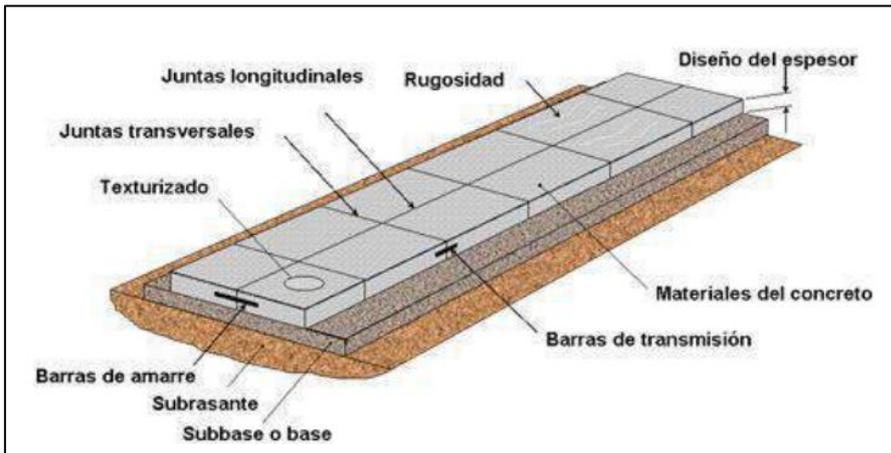
Categorías de Subrasante	CBR
S <sub>0</sub> : Subrasante Inadecuada	CBR < 3%
S <sub>1</sub> : Subrasante Pobre	De CBR ≥ 3% A CBR < 6%
S <sub>2</sub> : Subrasante Regular	De CBR ≥ 6% A CBR < 10%
S <sub>3</sub> : Subrasante Buena	De CBR ≥ 10% A CBR < 20%
S <sub>4</sub> : Subrasante Muy Buena	De CBR ≥ 20% A CBR < 30%
S <sub>5</sub> : Subrasante Excelente	CBR ≥ 30%

*Fuente:* Tomado de MTC (2013)

Una vez determinado el valor del CBR de diseño, para cada sector de características homogéneas, se realiza la clasificación de la categoría de subrasante perteneciente al sector o subtramo, conforme a los valores establecidos en la Figura 1.

En la tipología de los pavimentos, Uribe (2016) identifica al pavimento rígido como un bloque estructural conformado por una serie de capas de material granular que presentan una reducción en sus características mecánicas y de resistencia desde la superficie de la vía.

**Figura 2** Estructura de un pavimento rígido



*Fuente:* Tomado de Uribe (2016)

Existen consideraciones en la selección del tipo de pavimento, mediante un proceso de evaluación que comprende factores como: el comportamiento de la estructura o la capacidad de resistencia del suelo, así como el tipo de tráfico; las condiciones del tráfico, que incluye la estimación de la tasa de incremento; la vida útil que se calcula para la vía, que en caso de pavimentos rígidos es de 15 a 30 años (Uribe, 2016).

El pavimento rígido es considerado como una estructura que se compone de una capa de subbase granular y una capa de rodadura de concreto de cemento con agregados y en caso de ser necesario, de aditivos. Estos pavimentos rígidos pueden ser de concreto simple, de concreto con refuerzo de acero en forma de fibras o mallas o de concreto con refuerzo continuo (MTC, 2013).

## 1.2. Formulación del problema

### Pregunta general

¿Qué efecto genera la adición de cal en la subrasante natural, en el diseño de pavimentos rígidos en un distrito del norte del Peru?

### Preguntas específicas

PE 1: ¿Qué tipo de tránsito y nivel de servicio identifica a las vías en estudio, en base al volumen de tránsito?

PE 2: ¿Qué propiedades geomecánicas caracterizan a la subrasante natural donde se diseñará el pavimento?

PE 3: ¿Cuáles son los porcentajes óptimos de adición de cal a la subrasante natural para el caso de pavimentos rígidos en la zona de estudio?

PE 4: ¿Qué dimensiones debe tener un pavimento rígido con una subrasante estabilizada con adición de cal?

## 1.3. Objetivos

### Objetivo general

Determinar el efecto de la adición de cal en la subrasante natural en el diseño de pavimentos rígidos en un distrito del norte del Peru.

### Objetivos específicos

OE 1: Identificar el tipo de tránsito y nivel de servicio de las vías en estudio, en función al volumen de tránsito predominante en la zona.

OE 2: Identificar las propiedades geomecánicas de la subrasante mediante los ensayos de laboratorio de suelos.

OE 3: Determinar los porcentajes óptimos de adición de cal a la subrasante natural para pavimentos rígidos en la zona de estudio.

OE 4: Diseñar un pavimento rígido a partir de una subrasante estabilizada con adición de cal.

#### **1.4. Hipótesis**

Hipótesis general

El efecto de la aplicación de cal es la mejora de la subrasante, lo cual reduce el espesor en el diseño de pavimentos rígidos en un distrito del norte del Peru.

Hipótesis específicas

HE 1: Las vías en estudio, son de tránsito uniforme y se ubican en el nivel de servicio “A”

HE 2: Las propiedades geomecánicas que caracterizan a la subrasante natural se clasifican como suelos de arena limosa con grava, arena pobremente graduada con limo y grava y grava arcillosa con arena

HE 3: Los porcentajes óptimos de adición de cal a la subrasante natural son de 5% a más, para los pavimentos rígidos

HE 4: Un pavimento rígido con una subrasante estabilizada con adición de cal permite la reducción de su espesor.

#### **1.5. Justificación**

La justificación práctica, como la contribución de la investigación a la resolución de problemas prácticos (Gallardo, 2017); se puede observar en el trabajo de investigación desarrollado, con el logro de los resultados y conclusiones que son de gran utilidad práctica

para la industria de la construcción en los procesos de pavimentación de vías, sobre todo por los beneficios económicos que puede traer la reducción del espesor del pavimento sin poner en riesgo los niveles de resistencia de la vía.

La justificación teórica, que según Gallardo (2017) considera los supuestos a profundizar para contrastar las teorías que sustentan la investigación; se evidencia cuando en el desarrollo de la presente investigación, se logró confirmar y validar las distintas teorías, técnicas y metodologías referidas al uso de la cal hidratada, que tiene la bibliografía al respecto, así como lo normado por el MTC.

#### **1.6. Limitaciones**

En los puntos de control donde se hizo los aforos para el estudio de tráfico no se encontró presencia de semaforización, lo cual obligó al uso de personal de apoyo para el conteo del flujo vehicular en la zona de estudio; además, no se ha encontrado información disponible sobre el desarrollo geomorfológico de la zona de estudio, que sirva de antecedente a tomar en cuenta sobre las experiencias de los procesos de levantamiento y erosión originados.

## CAPÍTULO II: METODOLOGÍA

### 2.1. Tipo de investigación

Tomando en consideración que se han aplicado procesos experimentales para el tratamiento de las variables de estudio, el trabajo realizado se ubicó en el tipo de investigación aplicada, que según Ñaupas et al. (2014) "está orientada a resolver objetivamente los problemas de los procesos de producción...de cualquier actividad humana" (p. 93).

El nivel de investigación es explicativa, que Ñaupas et al. (2014) la definen como aquella que pretende "la verificación de hipótesis causales o explicativas...que expliquen las relaciones causales de las propiedades...de los hechos" (p. 92), teniendo en cuenta que el estudio ha estado orientado a contrastar una hipótesis de relación causa efecto.

Para dirigir la investigación se ha utilizado un diseño experimental de dos grupos con post prueba, donde el grupo experimental fue el suelo con adición de cal y el grupo control la subrasante natural.

### 2.2. Operacionalización de variables

Las variables de estudio son consideradas como cualidades, características observables que poseen las personas, objetos o procesos que varían en determinada magnitud y que por su función se clasifican como dependientes, cuando actúan como supuesta causa e independientes, cuando actúan como posible efecto (Ñaupas et al., 2014); para el caso de la presente investigación, las variables fueron

a) Variables independientes

- Adición de cal

b) Variable dependiente:

- Estabilización de subrasante
- Diseño de pavimentos rígidos

### Operacionalización de variables

Variables	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensiones	Indicadores	Escala
<b>Independiente :</b>  Adición de cal	Aplicación de cal en porcentajes definidos, cuando se considera que el suelo presenta condiciones desfavorables para el diseño de un pavimentos (Ruano, 2012).	Adición de determinados porcentajes de cal al suelo de subrasante, para modificar sus propiedades con procedimientos de laboratorio	Porcentajes	5%	De razón
				10%	
				15%	
<b>Dependiente 1:</b>  Estabilización de subrasante	Mejoramiento de las propiedades físicas de la capa del pavimento, que recibe las cargas provenientes de la base o subbase, para ser distribuidas de manera adecuada a las capas inferiores del pavimento (Becerra, 2012)	Clasificación y propiedades del suelo destinado a subrasante del la vía considerada como muestra de estudio, según sus propiedades evaluadas en laboratorio	Clasificación	Análisis granulométrico	De razón
				Plasticidad del suelo	
				Clasificación AASHTO	
				Clasificación USCS	
			Propiedades	Máxima densidad seca	
				Contenido óptimo de humedad	
				CBR al 95% de MDS	
<b>Dependiente 2:</b>  Diseño de pavimentos rígidos	Diseño de bloque estructural conformado por una serie de capas de material granular que presentan una reducción en sus características mecánicas y de resistencia desde la superficie de la vía Uribe, 2016)	Procedimiento de diseño de estructura del pavimento con subrasante natural y con adición de cal, utilizando el método AASHTO 93	Datos para el diseño	Cargas de tráfico	De razón
				Valores de subrasante	
				Valores de sub base	
				Resistencia del,concreto	
				Servicialidad	
			Espesores	Coeficientes de diseño	
				Losa de concreto	
Sub base granular					
				Subrasante	

### 2.3. Población y muestra

La población de estudio, como "conjunto de objetos, hechos, eventos que se van a estudiar" (Naupas et al., 2014, p. 246), se identificó como los suelos que poseen características similares a los tipos de suelos encontrados en esta investigación.

La muestra de estudio, como "subconjunto, o parte del universo o población" (Naupas et al., 2014, p. 246), estuvo representada por cantidad de puntos de investigación según lo establecido en la Norma Técnica CE. 010 "Pavimentos urbanos", que considera para vías locales, 1 punto de investigación por cada 1800 m<sup>2</sup>; por lo que se dispuso de una muestra de 3 calicatas en el tramo de estudio que va de la progresiva 0+050 a la progresiva 0+450, por se considera como una muestra no probabilística por conveniencia, ante la necesidad de estudio del referido tramo del proyecto.

### 2.4. Materiales, instrumentos y métodos

Los materiales utilizados fueron:

- Cemento
- Agregados
- Cal
- Reactivos para el estudio de suelos

Los instrumentos utilizados fueron

- Equipo topográfico para curvas de nivel y perfiles longitudinales.
- Cronómetro para el control de tiempos en el estudio de tráfico
- Herramientas de excavación de calicatas

- Tamices para la evaluación granulométrica
- Balanzas
- Molde cilíndrico de metal,
- Prensa
- Pisón de compactación
- Medidor de expansión

Los métodos usados en las distintas etapas del proyecto fueron:

- Método topográfico para estudios de georreferenciación y levantamientos planimétricos y altimétricos
- Método de estudio de tráfico
- Análisis granulométrico por tamizado MTC E 107
- CBR de materiales compactados MTC E 132
- Humedad natural MTC E 108
- Determinación del límite líquido MTC E 110
- Determinación del límite plástico MTC E 111
- Determinación del límite de contracción, si se encuentra alta actividad de los finos MTC E 112.
- Gravedad específica de los suelos MTC E 113
- Relación humedad-densidad compactada a la energía de Proctor Modificado MTC E 115.

## 2.5. Procedimiento

- La georreferenciación se hizo colocando puntos de control a través de coordenadas UTM.
- Se establecieron los puntos de control horizontal y vertical
- Se colocaron los puntos del eje de la vía
- Las determinaron las secciones transversales del terreno
- Se realizó el estudio de tráfico con muestreos para el cálculo del IMDA del tramo, según tipos de vehículos y demanda volumétrica
- Se efectuaron los ensayos de granulometría y CBR, en laboratorio de suelos.
- Se procedió al diseño del pavimento rígido.

En la investigación se ha tomado en cuenta como aspectos éticos el respeto por los derechos de autor de la información contenida en el estudio, aplicando la respectiva citación de autores y registro de referencias conforme a lo dispuesto en las Normas APA séptima edición.

## 2.6. Análisis estadístico

Para evaluar comparativamente los resultados de los ensayos para la subrasante con los valores de la subrasante natural, se aplicó una prueba estadística de signos, para comparación de los valores obtenidos en cada una de las pruebas de laboratorio, de manera pueda ser un indicador estadístico que compruebe que tanto incremento de propiedades se ha producido con la aplicación de cal a la subrasante, mostrados en las diferencias positivas en el reporte de la prueba y en el nivel de significación de las diferencias; para lo cual se

hizo uso del software estadístico SPSS versión 26, cuyos resultados se presentan en la página 79.

## **2.7. Aspectos éticos**

Teniendo como base los principios éticos de toda investigación, en los distintos procesos del estudio realizado se ha tenido presente el principio de beneficencia, a partir de los beneficios a la sociedad que se obtienen con los resultados obtenidos, tanto en los aspectos estructurales como económicos que se obtienen con una subrasante mejorada; en referencia al principio de no maleficencia, todos los trabajos realizados no han ocasionado afectaciones a las personas que participaron en el desarrollo de la investigación; en referencia al principio de autonomía, el tema de estudio fue elegido libremente por la autora, sin acciones coercitivas de terceros; sobre el principio de justicia se ha respetado las normas internas de la Universidad, en cuanto a su estructura y sus condiciones de originalidad, asimismo y se ha respetado también los derechos de autor en elaboración de citas y referencias, mediante la aplicación de las normas APA en su séptima edición.

## CAPÍTULO III: RESULTADOS

### 3.1 Estudio de tráfico en los tramos de estudio.

La vía estudiada se encuentra en un distrito del norte del Peru, la cual fue considerada como el área de impacto principal, teniendo además como área de impacto secundaria a las vías transversales y adyacentes al área principal; el estudio de tráfico se realizó con el propósito de determinar las categorías de los niveles de servicio de las vías en estudio, a fin de plantear soluciones de carácter temporal al tránsito peatonal y vehicular, así como para el diseño de un sistema de señalización y desvío de tránsito. Para evaluar el aforo de vehículos en las vías principales, el conteo vehicular fue tomado en intervalo de tiempo de cada 15 minutos, para establecer las horas punta, según los días que se detallan en la tabla.

**Tabla 2** Resultados del conteo vehicular

TIPO DE VEHÍCULO	22/08/2022		23/08/2022		27/08/2022	
	7:30 - 8:30	12:30 - 14:30	7:30 - 8:30	12:30 - 14:30	7:30 - 8:30	12:30 - 14:30
MOTO LINEAL	47	54	23	19	25	26
MOTOTAXI	95	107	27	51	60	54
AUTOS	113	126	122	143	120	127
CAMIONETA RURAL	8	10	13	10	15	9
MICROBUS	0	0	0	0	0	0
OMNIBUS	0	0	0	0	0	0
BUS	0	0	0	0	0	0
CAMIÓN	2	1	1	5	4	4
TRAILER	0	0	0	0	0	0

*Fuente:* Propia

Realizados los cálculos de volumen vehicular, para el análisis de la capacidad vial, se utilizó como muestra de representación, los conteos e indicadores recabados en la hora de

máxima demanda (HMD) correspondiente los días lunes 22 y martes 23 de agosto de 2022 y en día atípico, sábado 27 de agosto del 2022, con registros en turno mañana (07:00 – 10:00 am.) y en turno tarde (13:00 - 16:00 pm.).

**Tabla 3** Flujo vehicular 22/08/2022 turno mañana

TIPO DE VEHICULO	NORTE - SUR				SUR - NORTE				ESTE - OESTE				OESTE - ESTE				TOTAL	%
	10	11	12	13	20	21	22	23	30	31	32	33	40	41	42	43		
Moto Lineal	0	1	2	3	0	1	2	1	0	1	6	5	0	6	13	6	47	17.70%
Mototaxi	0	3	2	6	0	2	2	1	0	7	18	11	0	11	21	11	95	35.80%
Autos	0	4	2	7	0	4	2	7	0	9	20	8	0	9	28	13	113	42.60%
C.Rural	0	1	0	1	0	1	0	1	0	0	2	0	0	1	1	0	8	3.00%
Microbus	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00%
Omnibus	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00%
Bus Interprovincial	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00%
Camión Ligero	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	2	0.80%
Camión Pesado	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00%

SUBTOTAL	0	9	6	17	0	8	6	10	0	17	47	24	0	28	63	30	265
% X MOV.	0.00%	3.40%	2.30%	6.40%	0.00%	3.00%	2.30%	3.80%	0.00%	6.40%	17.70%	9.10%	0.00%	10.60%	23.80%	11.30%	100.00%
% de Pesados	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	2.10%	0.00%	0.00%	3.60%	0.00%	0.00%	5.70%
F.H.P.	0	0.75	0.44	0.52	0	0.54	0.44	0.52	0	0.74	0.69	0.68	0	0.74	0.47	0.75	

T. Menor	0	4	4	9	0	3	4	2	0	8	24	16	0	17	34	17	142	53.40%
T. Privado	0	4	2	7	0	4	2	7	0	9	20	8	0	9	29	13	114	42.90%
T. Publico	0	1	0	1	0	1	0	1	0	0	2	0	0	1	1	0	8	3.00%
T. Pesado	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	2	0.80%

Fuente: Propia

**Tabla 4** Flujo vehicular 22/08/2022 turno tarde

TIPO DE VEHICULO	NORTE - SUR				SUR - NORTE				ESTE - OESTE				OESTE - ESTE				TOTAL	%
	10	11	12	13	20	21	22	23	30	31	32	33	40	41	42	43		
Moto Lineal	0	3	1	2	0	2	1	1	0	4	6	2	0	10	14	8	54	18.10%
Mototaxi	0	3	4	7	0	3	1	3	0	16	16	9	0	7	27	11	107	35.90%
Autos	0	4	3	6	0	2	3	6	0	8	20	19	0	9	33	13	126	42.30%
C.Rural	0	1	1	0	0	1	1	0	0	0	2	0	0	2	1	1	10	3.40%
Microbus	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00%
Omnibus	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00%
Bus Interprovincial	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00%
Camión Ligero	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0.30%
Camión Pesado	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00%
<b>SUBTOTAL</b>	0	11	9	15	0	8	6	10	0	28	44	30	0	29	75	33	298	
% X MOV.	0.00%	3.70%	3.00%	5.00%	0.00%	2.70%	2.00%	3.40%	0.00%	9.40%	14.80%	10.10%	0.00%	9.70%	25.20%	11.10%	100.00%	
% de Pesados	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	3.40%	0.00%	0.00%	3.40%	
F.H.P.	0	0.25	0	0	0	0.25	0	0	0	0	0.25	0.25	0	0.25	0.25	0.25		
T. Menor	0	6	5	9	0	5	2	4	0	20	22	11	0	17	41	19	161	53.80%
T. Privado	0	4	3	6	0	2	3	6	0	8	20	19	0	9	34	13	127	42.50%
T. Público	0	1	1	0	0	1	1	0	0	0	2	0	0	2	1	1	10	3.30%
T. Pesado	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0.30%

Fuente: Propia

**Tabla 5** Flujo vehicular 23/08/2022 turno mañana

TIPO DE VEHICULO	NORTE - SUR				SUR - NORTE				ESTE - OESTE				OESTE - ESTE				TOTAL	%
	10	11	12	13	20	21	22	23	30	31	32	33	40	41	42	43		
Moto Lineal	0	1	1	1	0	2	0	1	0	2	5	3	0	2	3	2	23	10.50%
Mototaxi	0	4	6	2	0	3	0	2	0	5	11	2	0	8	8	6	57	26.00%
Autos	0	4	8	5	0	8	3	8	0	7	23	8	0	11	26	11	122	55.70%
C.Rural	0	1	0	0	0	1	0	2	0	0	4	0	0	1	3	1	13	5.90%
Microbus	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00%
Omnibus	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00%
Bus Interprovincial	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00%
Camión Ligero	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	2	0	4	1.80%
Camión Pesado	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00%
<b>SUBTOTAL</b>	0	10	15	8	0	14	3	13	0	14	45	13	0	22	42	20	219	
% X MOV.	0.00%	4.60%	6.80%	3.70%	0.00%	6.40%	1.40%	5.90%	0.00%	6.40%	20.50%	5.90%	0.00%	10.00%	19.20%	9.10%	100.00%	
% de Pesados	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	4.40%	0.00%	0.00%	0.00%	4.80%	0.00%	9.20%	
F.H.P.	0	0.88	0.25	0.7	0	0.69	0.25	0.56	0	0.32	0.58	0.56	0	0.61	0.73	0.83		
T. Menor	0	5	7	3	0	5	0	3	0	7	16	5	0	10	11	8	80	36.00%
T. Privado	0	4	8	5	0	8	3	8	0	7	23	8	0	11	29	11	125	56.30%
T. Publico	0	1	0	0	0	1	0	2	0	0	4	0	0	1	3	1	13	5.90%
T. Pesado	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	2	0	4	1.80%

Fuente: Propia

**Tabla 6** Flujo vehicular 23/08/2022 turno tarde

TIPO DE VEHICULO	NORTE - SUR				SUR - NORTE				ESTE - OESTE				OESTE - ESTE				TOTAL	%
	10	11	12	13	20	21	22	23	30	31	32	33	40	41	42	43		
Moto Lineal	0	2	1	2	0	1	0	1	0	2	2	1	0	3	2	2	19	8.30%
Mototaxi	0	2	3	2	0	2	0	1	0	2	8	5	0	8	10	8	51	22.40%
Autos	0	11	3	9	0	8	3	7	0	8	26	7	0	12	33	16	143	62.70%
C.Rural	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	4	0	0	0	4	0	10	4.40%
Microbus	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00%
Omnibus	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00%
Bus Interprovincial	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00%
Camión Ligero	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2	0	0	1	1	0	5	2.20%
Camión Pesado	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00%
<b>SUBTOTAL</b>	0	15	7	13	0	12	3	10	0	13	42	13	0	24	50	26	228	
% X MOV.	0.00%	6.60%	3.10%	5.70%	0.00%	5.30%	1.30%	4.40%	0.00%	5.70%	18.40%	5.70%	0.00%	10.50%	21.90%	11.40%	100.00%	
% de Pesados	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	7.70%	4.80%	0.00%	0.00%	4.20%	2.00%	0.00%	18.60%	
F.H.P.	0	0.25	0	0.25	0	0.25	0	0.25	0	0	0.25	0.25	0	0.25	0.25	0.25		
T. Menor	0	4	4	4	0	3	0	2	0	4	10	6	0	11	12	10	70	30.20%
T. Privado	0	11	3	9	0	8	3	7	0	8	26	7	0	12	37	16	147	63.40%
T. Publico	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	4	0	0	0	4	0	10	4.30%
T. Pesado	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2	0	0	1	1	0	5	2.20%

Fuente: Propia

**Tabla 7** Flujo vehicular 27/08/2022 turno mañana

TIPO DE VEHICULO	NORTE - SUR				SUR - NORTE				ESTE - OESTE				OESTE - ESTE				TOTAL	%
	10	11	12	13	20	21	22	23	30	31	32	33	40	41	42	43		
Moto Lineal	0	1	2	1	0	2	0	1	0	2	3	5	0	3	3	2	25	11.20%
Mototaxi	0	4	4	3	0	3	0	2	0	5	8	5	0	9	11	6	60	26.80%
Autos	0	6	6	7	0	7	3	6	0	7	17	8	0	14	23	16	120	53.60%
C.Rural	0	1	0	1	0	1	0	2	0	1	4	0	0	1	3	1	15	6.70%
Microbus	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00%
Omnibus	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00%
Bus Interprovincial	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00%
Camión Ligero	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	2	0	4	1.80%
Camión Pesado	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00%
<b>SUBTOTAL</b>	0	12	12	12	0	13	3	11	0	16	33	18	0	27	42	25	224	
% X MOV.	0.00%	5.40%	5.40%	5.40%	0.00%	5.80%	1.30%	4.90%	0.00%	7.10%	14.70%	8.00%	0.00%	12.10%	18.80%	11.20%	100.00%	
% de Pesados	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	6.30%	3.00%	0.00%	0.00%	0.00%	4.80%	0.00%	14.00%	
F.H.P.	0	0.42	0.25	0.53	0	0.69	0.25	0.72	0	0.29	0.77	0.53	0	0.52	0.75	0.62		
T. Menor	0	5	6	4	0	5	0	3	0	7	11	10	0	12	14	8	85	37.40%
T. Privado	0	6	6	7	0	7	3	6	0	7	17	8	0	14	26	16	123	54.20%
T. Publico	0	1	0	1	0	1	0	2	0	1	4	0	0	1	3	1	15	6.60%
T. Pesado	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	2	0	4	1.80%

Fuente: Propia

**Tabla 8** Flujo vehicular 27/08/2022 turno tarde

TIPO DE VEHICULO	NORTE - SUR				SUR - NORTE				ESTE - OESTE				OESTE - ESTE				TOTAL	%
	10	11	12	13	20	21	22	23	30	31	32	33	40	41	42	43		
Moto Lineal	0	2	1	2	0	1	0	1	0	3	5	1	0	4	2	4	26	11.80%
Mototaxi	0	2	4	3	0	2	0	1	0	2	9	5	0	8	10	8	54	24.50%
Autos	0	12	5	13	0	9	3	5	0	7	19	7	0	10	22	15	127	57.70%
C.Rural	0	0	1	0	0	1	0	1	0	0	3	1	0	0	2	0	9	4.10%
Microbus	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00%
Omnibus	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00%
Bus Interprovincial	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00%
Camión Ligero	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	1	1	4	1.80%
Camión Pesado	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00%
<b>SUBTOTAL</b>	0	16	11	18	0	13	3	8	0	13	36	15	0	22	37	28	220	
% X MOV.	0.00%	7.30%	5.00%	8.20%	0.00%	5.90%	1.40%	3.60%	0.00%	5.90%	16.40%	6.80%	0.00%	10.00%	16.80%	12.70%	100.00%	
% de Pesados	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	7.70%	0.00%	6.70%	0.00%	0.00%	2.70%	3.60%	20.60%	
F.H.P.	0	0.25	0	0	0	0.25	0	0.25	0	0	0.25	0.25	0	0.25	0.25	0.25		
T. Menor	0	4	5	5	0	3	0	2	0	5	14	6	0	12	12	12	80	36.00%
T. Privado	0	12	5	13	0	9	3	5	0	7	19	7	0	10	24	15	129	58.10%
T. Publico	0	0	1	0	0	1	0	1	0	0	3	1	0	0	2	0	9	4.10%
T. Pesado	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	1	1	4	1.80%

Fuente: Propia

A partir de esta información, para calcular la capacidad y niveles de servicio, se utilizó el HCM 2000, con el Software SYNCHRO 8.0 + Simtraffic, diseñados para el análisis y representación de las condiciones de circulación de las vías, y para la determinación del grado de saturación, tomando como base el porcentaje de utilización de la capacidad de la intersección (ICU).

Con este estudio de tráfico, se considera que las vías de estudio. son mayormente locales además de tener poca afluencia vehicular, excepto la que se encuentra en el distrito del norte del Peru, que tienen mayor afluencia por ser la vía principal del distrito, en cuya intersección se tiene en el horario crítico de 7:30 a 8:30 am, una demora media de 6.8 segundos, ICU igual a 0.21 y nivel de servicio: A. El informe del estudio de tráfico se presenta en anexos.

### **3.2 Propiedades geomecánicas del suelo de subrasante**

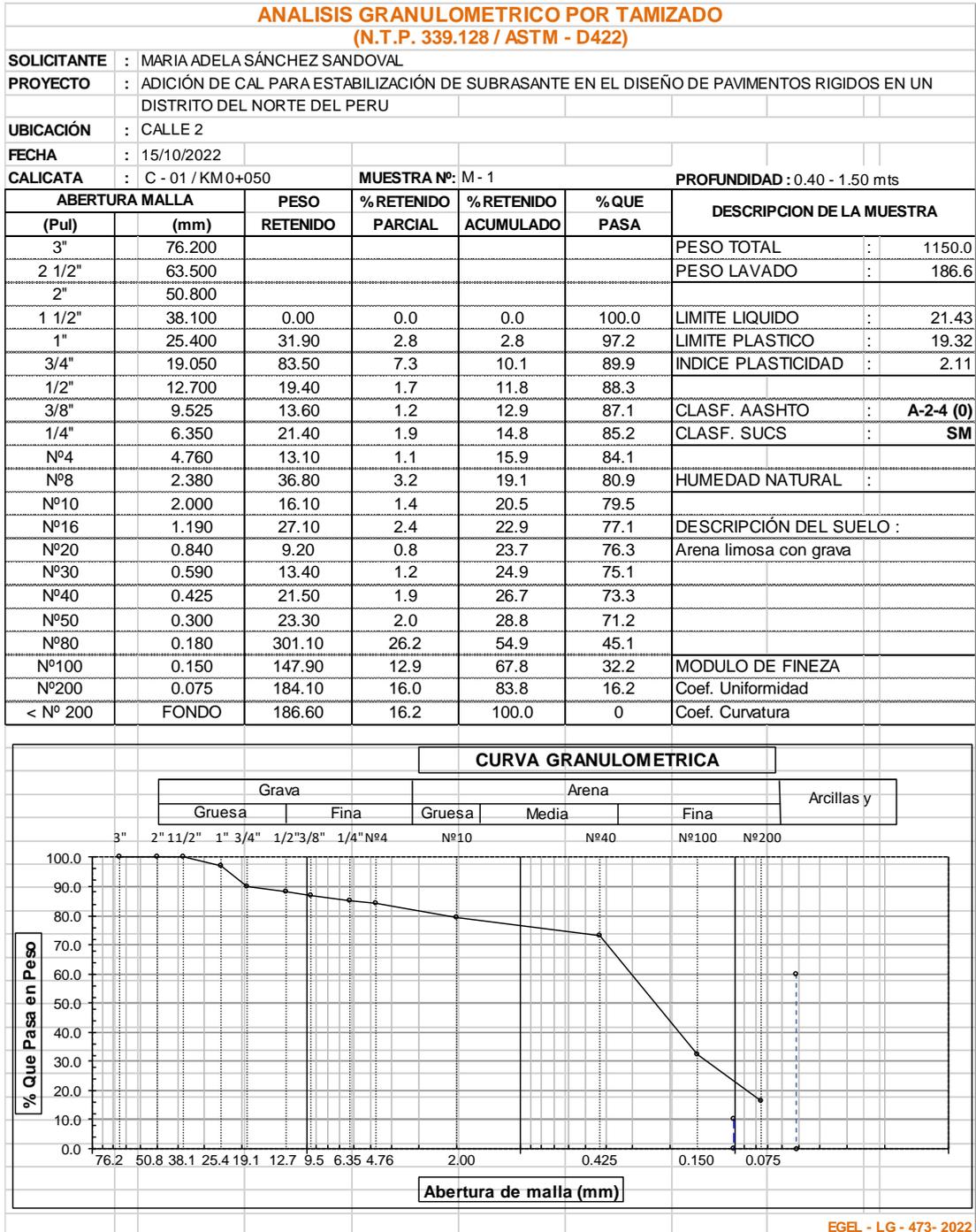
Para obtener las características geomecánicas de los suelos naturales, en el trabajo de campo se realizaron tres calicatas a una profundidad de 1.5 metros cada una, con cuyas muestras se realizaron las pruebas de laboratorio: análisis granulométrico por tamizado, límites de Atterberg, clasificación de suelos, humedad natural, proctor modificado, CBR y abrasión, tomando como fundamento normativos las normas técnicas peruanas que se encuentran vigentes.





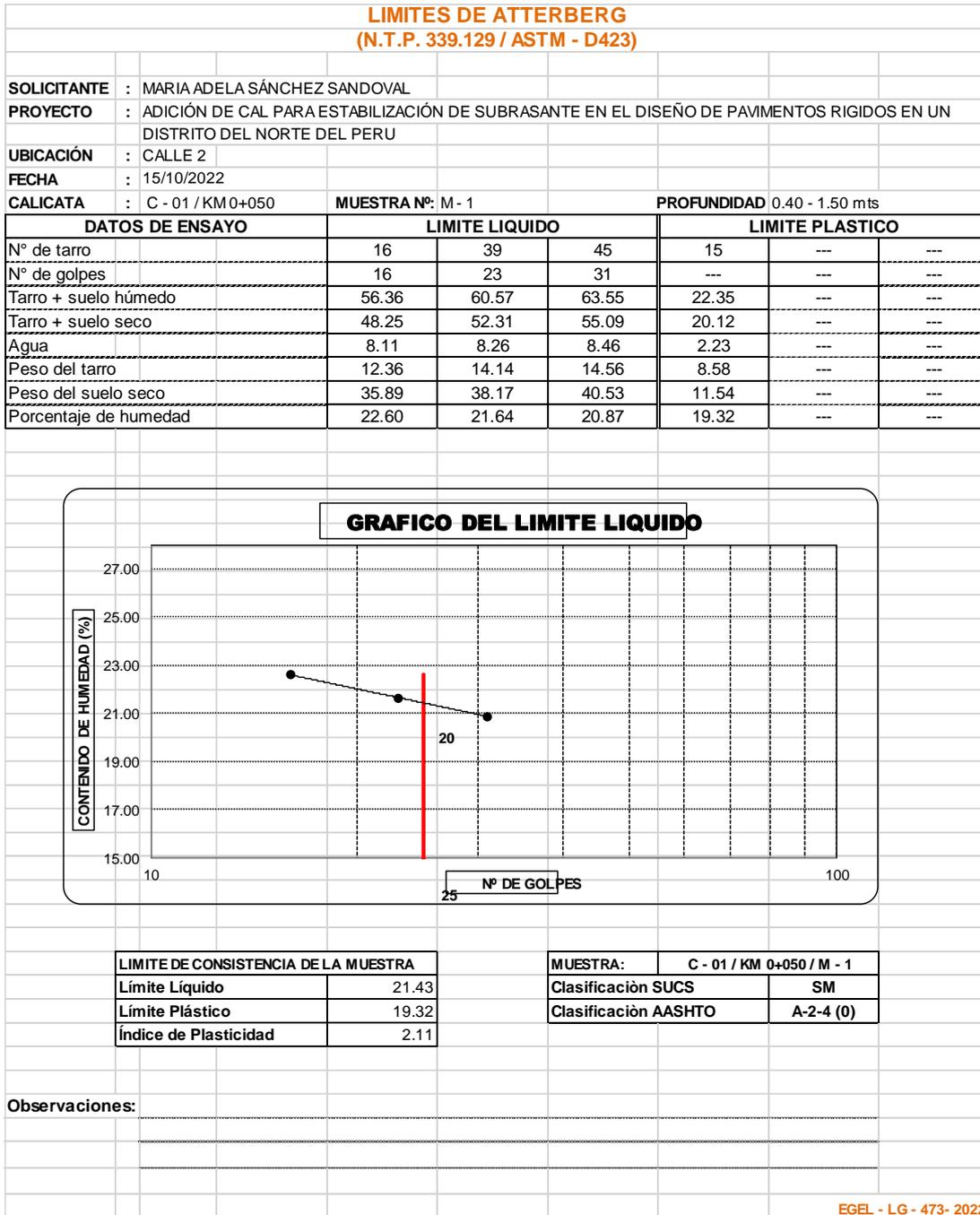


Figura 6 *Análisis granulométrico calicata C-1*



Fuente: Propia

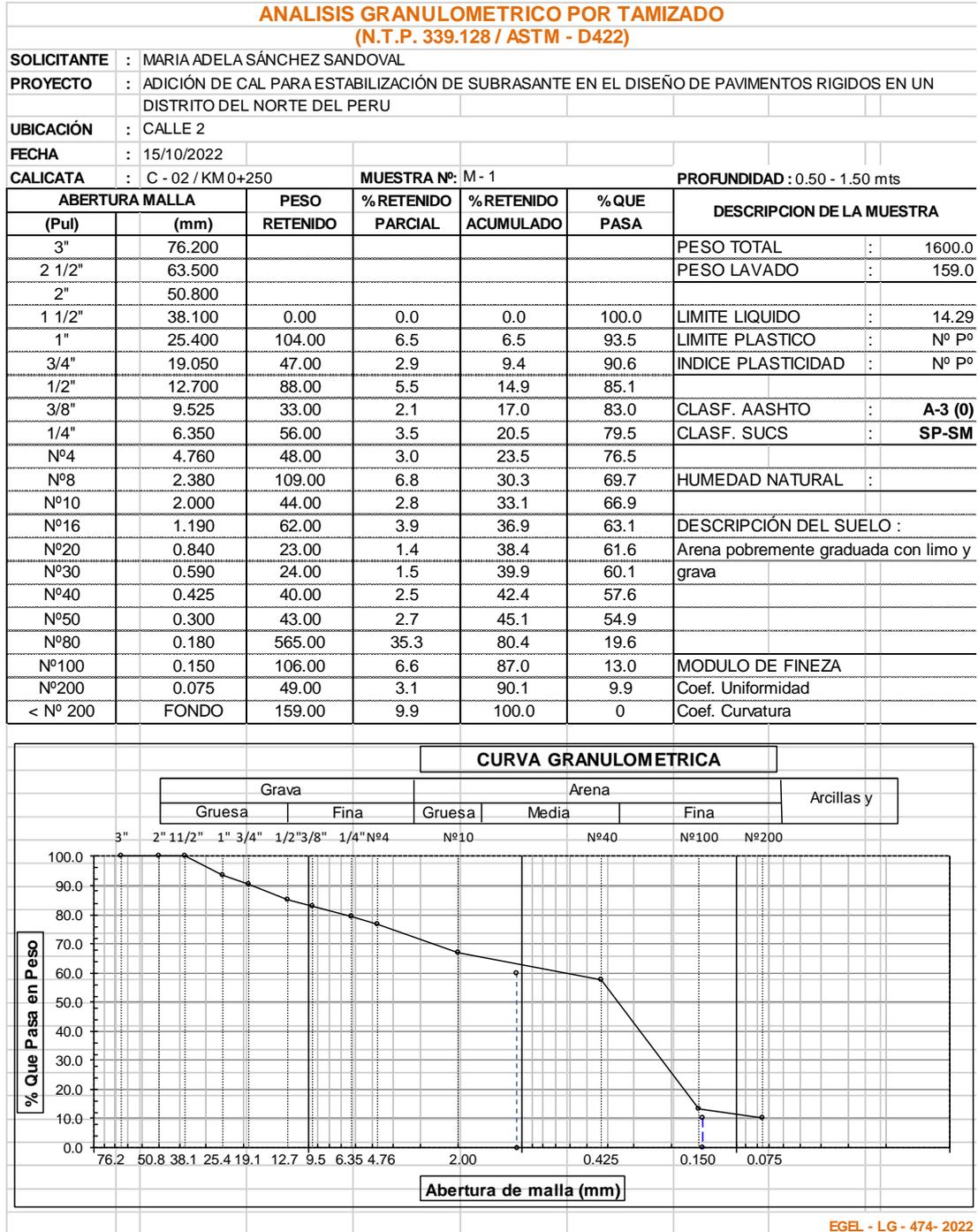
Figura 7 Contenido de humedad C-1



EGEL - LG - 473- 2022

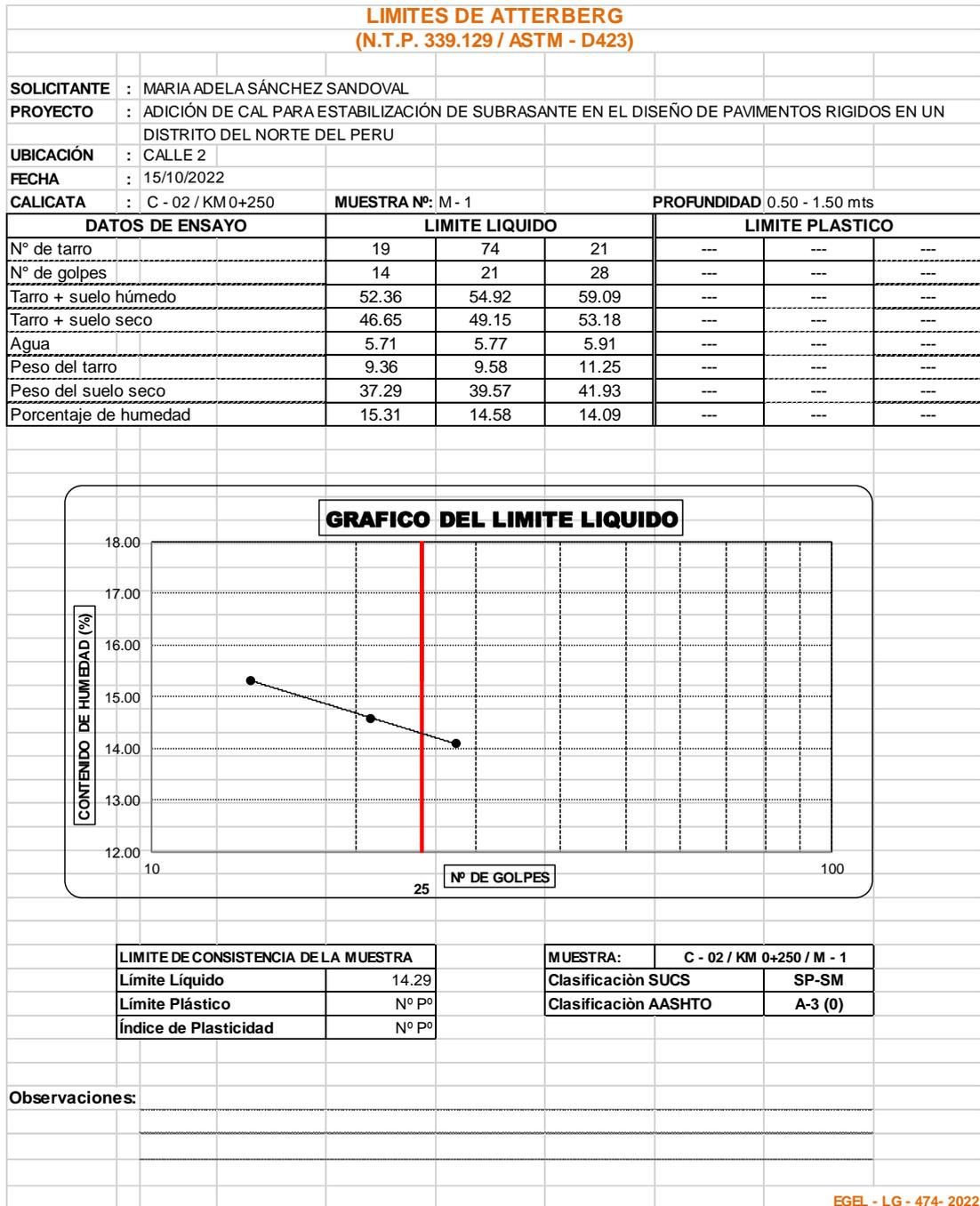
Fuente: Propia

Figura 8 Análisis granulométrico calicata C-2



Fuente: Propia

**Figura 9** Contenido de humedad C-2

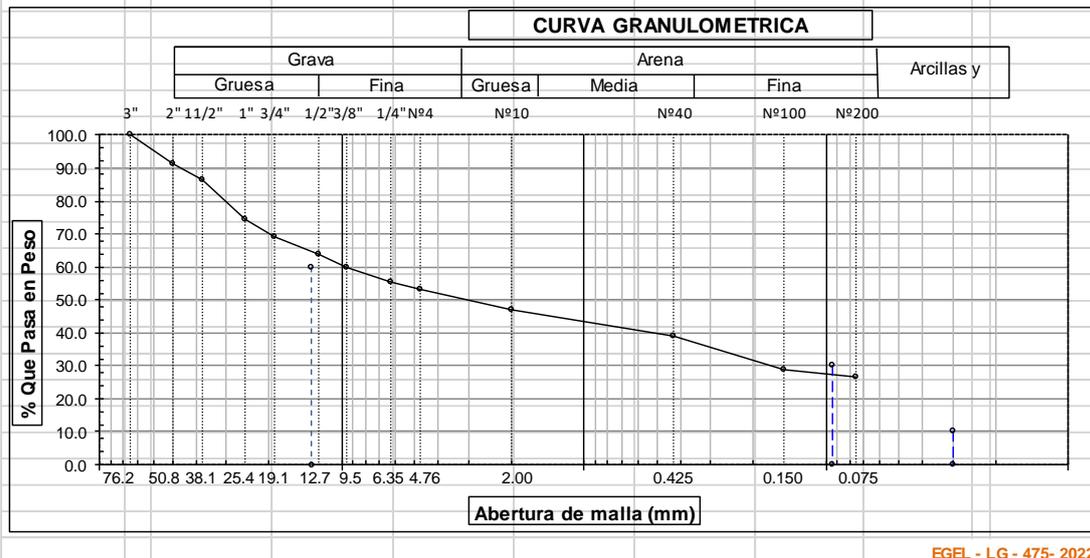


EGEL - LG - 474- 2022

Fuente: Propia

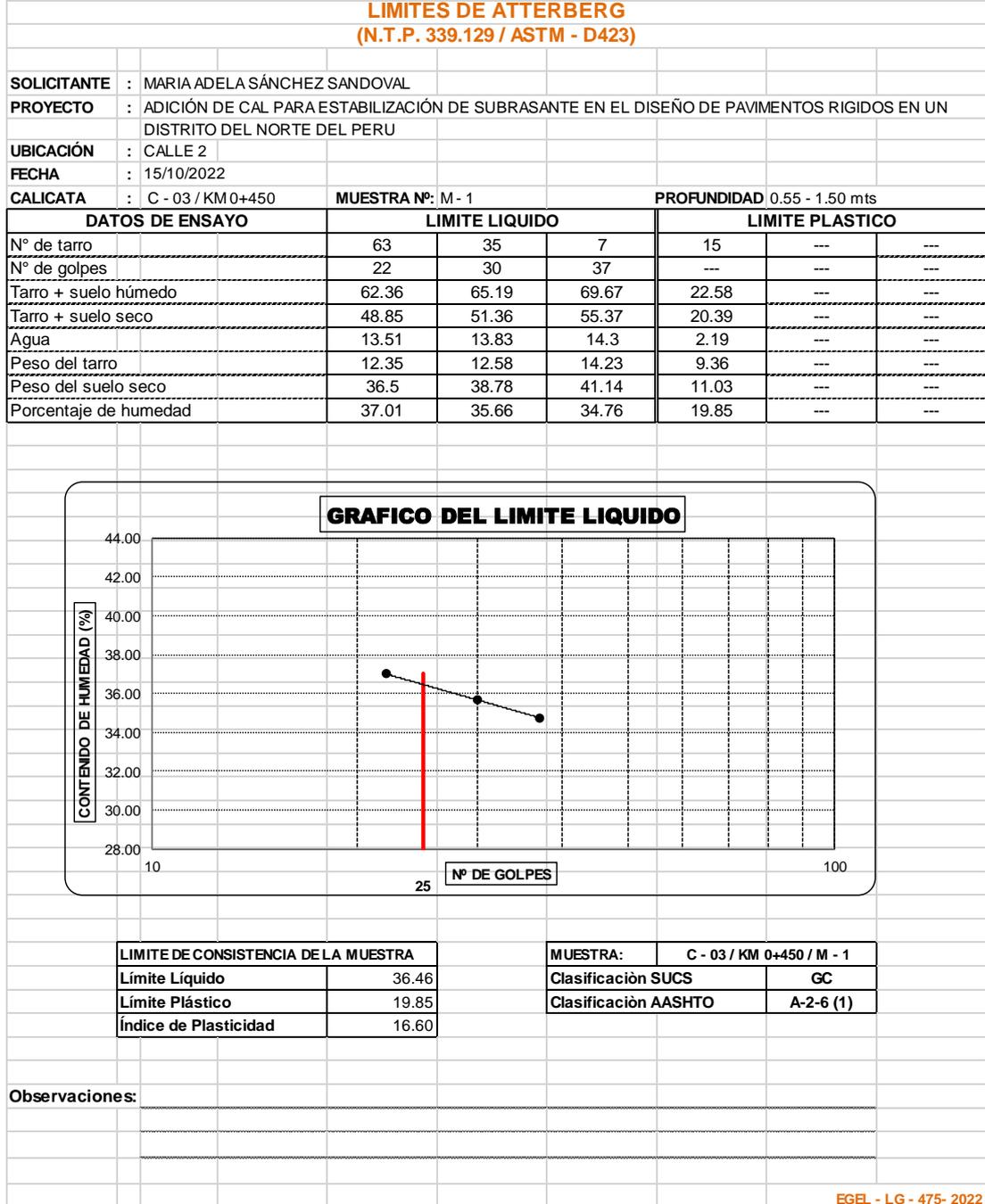
Figura 10 Análisis granulométrico calicata C-3

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO (N.T.P. 339.128 / ASTM - D422)						
SOLICITANTE :		MARIA ADELA SÁNCHEZ SANDOVAL				
PROYECTO :		ADICIÓN DE CAL PARA ESTABILIZACIÓN DE SUBRASANTE EN EL DISEÑO DE PAVIMENTOS RIGIDOS EN UN DISTRITO DEL NORTE DEL PERU				
UBICACIÓN :		CALLE 2				
FECHA :		15/10/2022				
CALICATA :		C - 03 / KM 0+450		MUESTRA Nº: M - 1		PROFUNDIDAD : 0.55 - 1.50 mts
ABERTURA MALLA		PESO		% RETENIDO		DESCRIPCION DE LA MUESTRA
(Pul)	(mm)	RETENIDO	PARCIAL	ACUMULADO	% QUE PASA	
3"	76.200					PESO TOTAL : 2695.0
2 1/2"	63.500	0.00	0.0	0.0	100.0	PESO LAVADO : 712.0
2"	50.800	237.00	8.8	8.8	91.2	
1 1/2"	38.100	125.00	4.6	13.4	86.6	LIMITE LIQUIDO : 36.46
1"	25.400	329.00	12.2	25.6	74.4	LIMITE PLASTICO : 19.85
3/4"	19.050	140.00	5.2	30.8	69.2	INDICE PLASTICIDAD : 16.60
1/2"	12.700	149.00	5.5	36.3	63.7	
3/8"	9.525	105.00	3.9	40.2	59.8	CLASF. AASHTO : A-2-6 (1)
1/4"	6.350	122.00	4.5	44.8	55.3	CLASF. SUCS : GC
Nº4	4.760	61.00	2.3	47.0	53.0	
Nº8	2.380	111.00	4.1	51.1	48.9	HUMEDAD NATURAL :
Nº10	2.000	47.00	1.7	52.9	47.1	
Nº16	1.190	77.00	2.9	55.7	44.3	DESCRIPCIÓN DEL SUELO :
Nº20	0.840	31.00	1.2	56.9	43.1	Grava arcillosa con arena
Nº30	0.590	37.00	1.4	58.3	41.8	
Nº40	0.425	74.00	2.8	61.0	39.0	
Nº50	0.300	63.00	2.3	63.3	36.7	
Nº80	0.180	148.00	5.5	68.8	31.2	
Nº100	0.150	68.00	2.5	71.4	28.7	MODULO DE FINEZA
Nº200	0.075	59.00	2.2	73.5	26.5	Coef. Uniformidad
< Nº 200	FONDO	712.00	26.4	100.0	0	Coef. Curvatura



Fuente: Propia

**Figura 11** Contenido de humedad C-3



En el estudio de clasificación del suelo natural, se han utilizado los dos métodos que se fundamentan en el análisis granulométrico y en la plasticidad de los suelos; el primero, conocido como el sistema AASHTO que clasifica los suelos inorgánicos en siete grandes grupos, desde el A-1 al A-7, donde el A-1 es considerado como el mejor suelo para su uso en subrasantes por su óptima gradación, pero que en el caso del suelo estudiado.

En el caso del del Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (USCS) se ha clasificado a los suelos fundamentados en los ensayos de laboratorio con la distribución según tamaño de partículas, límite líquido e índice de plasticidad, obteniendo como resultado una clasificación de suelos de: arena limosa con grava (SM), arena pobremente graduada con limo y grava (SP-SM) y grava arcillosa con arena (GC); y una clasificación en el sistema AASHTO como: A-7-6 (14), A-7- 6 (15), A-7-6 (13), A-1-b (0).

**Figura 12** *Humedad natural del suelo*

<b>HUMEDAD NATURAL</b>					
<b>ASTM D - 2216</b>					
<b>TESISTA</b>	: MARIA ADELA SÁNCHEZ SANDOVAL				
<b>PROYECTO</b>	: ADICIÓN DE CAL PARA ESTABILIZACIÓN DE SUBRASANTE EN EL DISEÑO DE PAVIMENTOS RIGIDOS EN UN DISTRITO DEL NORTE DEL PERU				
<b>UBICACIÓN</b>	: CALLE 2				
<b>FECHA</b>	: 15/10/2022				
<b>PROGRESIVA</b>		<b>0+050</b>	<b>0+250</b>	<b>0+450</b>	
<b>CALICATA</b>		<b>C - 01</b>	<b>C - 02</b>	<b>C - 03</b>	
<b>MUESTRA</b>		<b>M - 1</b>	<b>M - 1</b>	<b>M - 1</b>	
<b>PROFUNDIDAD</b>		<b>0.40 - 1.50</b>	<b>0.50 - 1.50</b>	<b>0.55 - 1.50</b>	
<b>Nº Recipiente</b>		24	11	5	
<b>Peso Suelo Húmedo + Recipiente</b>		421.80	494.10	432.90	
<b>Peso Suelo Seco + Recipiente</b>		377.30	451.50	402.50	
<b>Peso del Agua</b>		44.50	42.60	30.40	
<b>Peso Recipiente</b>		55.40	55.10	39.10	
<b>Peso Suelo Seco</b>		321.90	396.40	363.40	
<b>Porcentaje de Humedad</b>		<b>13.82%</b>	<b>10.75%</b>	<b>8.37%</b>	

*Fuente:* Propia

**Figura 13** Muestra gráfica de ensayos de análisis del suelo



Fuente: Propia

En la calicata C-1, entre los niveles de 0.00 y 0.40 m de profundidad, se encontró material de relleno con desechos de materiales de construcción; en las capas de suelo entre 0.40 y 1.50 de profundidad se encontró arena limosa con manchas blancas de consistencia semidura,

En la calicata C-2, entre los niveles de 0.00 - 0.50 m de profundidad, se encontró material de relleno con desechos de material de construcción; entre los niveles de 0.50 - 1.50 m de profundidad, se encontró arena pobremente graduada con limo y grava de color marrón oscuro con manchas blancas de consistencia semi dura.

En la calicata C-3, entre los niveles de 0.00 - 0.50 m de profundidad, se encontró material de relleno con desechos de material de construcción y materia orgánica; entre los niveles de 0.50 - 1.50, se encontró grava arcillosa con arena de color beige oscuro con

manchas verduzcas y de oxidaciones de consistencia dura. A partir de estos ensayos se tiene la siguiente clasificación del suelo.

**Tabla 9** *Clasificación de suelos*

Calicata	Descripción	AASHTO	SUCS	Humedad natural (%)	Límite líquido (%)	Límite plástico (%)	Índice de plasticidad
C - 01	Arena limosa con grava	A-2-4 (0)	SM	13.82	21.43	19.32	2.11
C - 02	Arena pobremente gradada con limo y grava	A-3 (0)	SP-SM	10.75	14.29	NºPº	NºPº
C - 03	Grava arcillosa con arena	A-2-6 (1)	GC	8.37	36.46	19.85	16.60

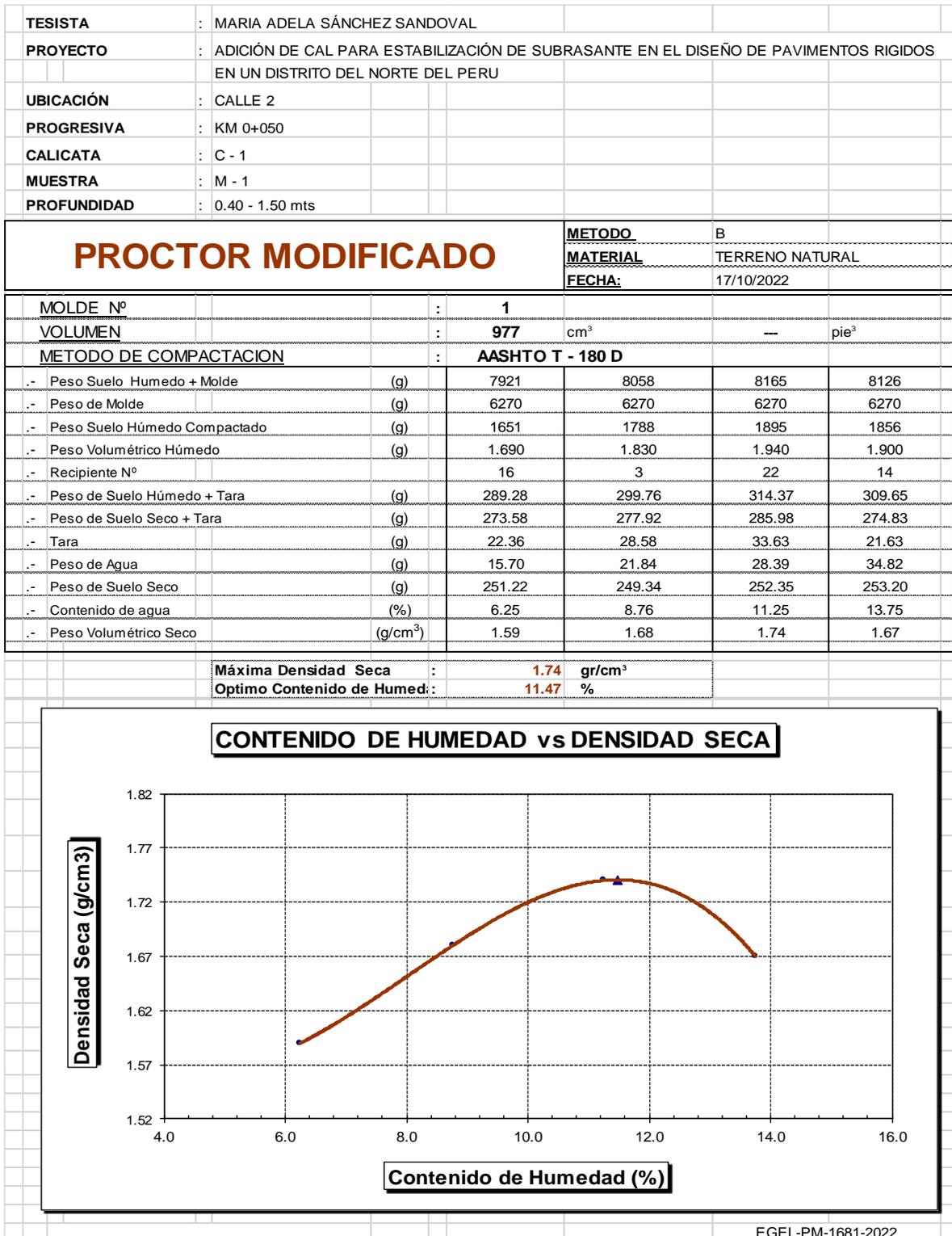
*Fuente:* Propia

### 3.3 Porcentajes óptimos de adición de cal a la subrasante natural

Para encontrar la máxima densidad seca que alcanzó el suelo, como también la humedad optima a la que deberá realizarse la compactación, se ejecutó el ensayo Proctor Modificado determinando los valores de la densidad máxima seca del suelo de la vía relacionado con el contenido óptimo de humedad, con la aplicación de la energía de compactación especificada en los informes que obran en anexos; estos ensayos se utilizan para la verificar la compactación y el contenido de humedad que se requiere para evitar probables consecuencias de la inestabilidad del suelo en la vía en estudio.

Se utilizó el del ensayo Proctor Modificado, con el método de compactación AASHTO-180D, para las muestras de suelo obtenidas de las calicatas, para el uso de suelo de la cantera Tres Tomas, así como para el suelo con adición de cal en los porcentajes determinados.

**Figura 14** *Ensayo Proctor para suelo natural calicata C-1*



Fuente: Propia

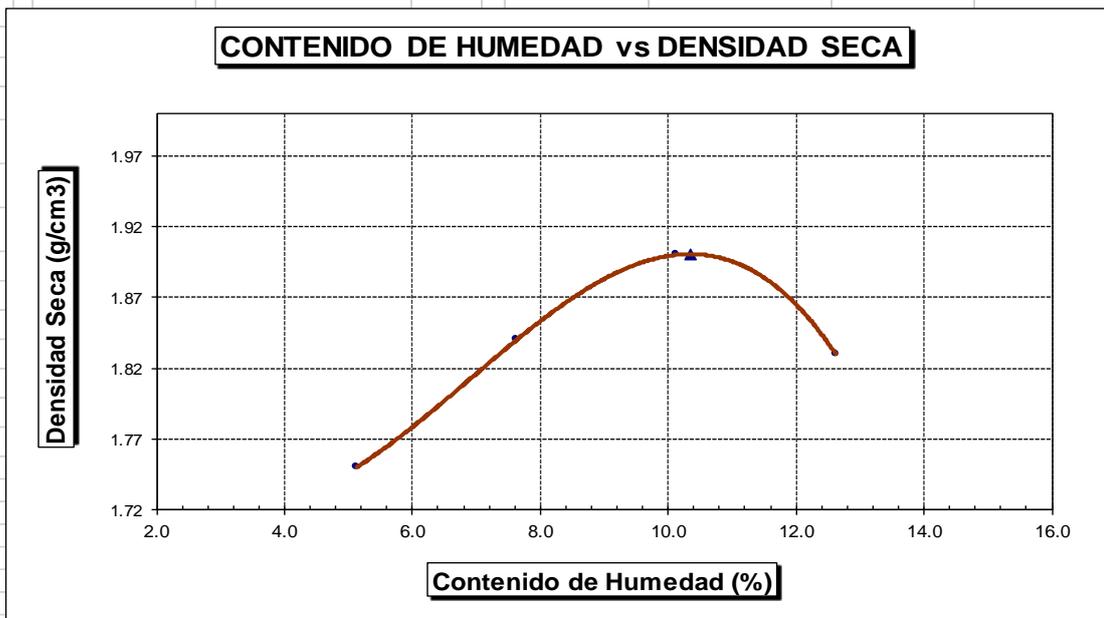
**Figura 15** Ensayo Proctor para suelo natural + 5% cal, calicata C-1

<b>TESISTA</b>	: MARIA ADELA SÁNCHEZ SANDOVAL
<b>PROYECTO</b>	: ADICIÓN DE CAL PARA ESTABILIZACIÓN DE SUBRASANTE EN EL DISEÑO DE PAVIMENTOS RIGIDOS EN UN DISTRITO DEL NORTE DEL PERU
<b>UBICACIÓN</b>	: CALLE 2
<b>PROGRESIVA</b>	: KM 0+050
<b>CALICATA</b>	: C - 1
<b>MUESTRA</b>	: TERRENO NATURAL + 5% DE CAL

<b>PROCTOR MODIFICADO</b>	<b>METODO</b>	B
	<b>MATERIAL</b>	TERRENO NATURAL
	<b>FECHA:</b>	18/10/2022

<b>MOLDE N°</b>	:	<b>1</b>				
<b>VOLUMEN</b>	:	<b>977</b>	cm <sup>3</sup>		---	pie <sup>3</sup>
<b>METODO DE COMPACTACION</b>	:	<b>AASHTO T - 180 D</b>				
- Peso Suelo Humedo + Molde	(g)	8068	8204	8312	8283	
- Peso de Molde	(g)	6270	6270	6270	6270	
- Peso Suelo Húmedo Compactado	(g)	1798	1934	2042	2013	
- Peso Volumétrico Húmedo	(g)	1.840	1.980	2.090	2.060	
- Recipiente N°		19	92	36	41	
- Peso de Suelo Húmedo + Tara	(g)	254.83	262.99	263.95	274.25	
- Peso de Suelo Seco + Tara	(g)	243.81	246.71	242.05	246.84	
- Tara	(g)	28.58	33.36	25.69	29.63	
- Peso de Agua	(g)	11.02	16.28	21.90	27.41	
- Peso de Suelo Seco	(g)	215.23	213.35	216.36	217.21	
- Contenido de agua	(%)	5.12	7.63	10.12	12.62	
- Peso Volumétrico Seco	(g/cm <sup>3</sup> )	1.75	1.84	1.90	1.83	

Máxima Densidad Seca : **1.90** gr/cm<sup>3</sup>  
 Optimo Contenido de Humed: **10.34** %



EGEL-PM-1685-2022

Fuente: Propia

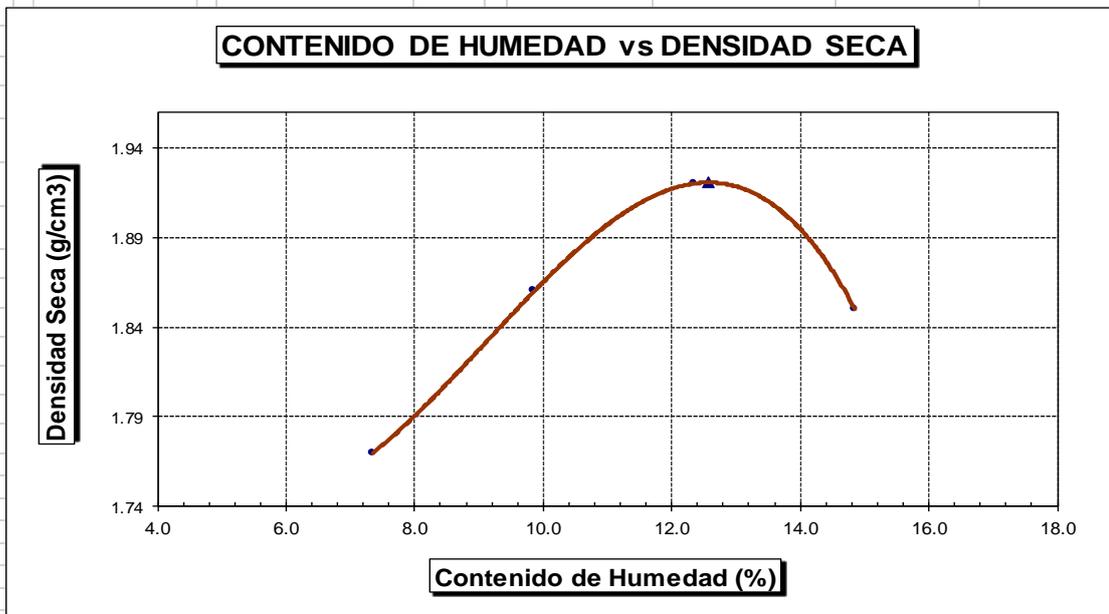
**Figura 16** Ensayo Proctor para suelo natural + 10% cal, calicata C-1

<b>TESISTA</b>	: MARIA ADELA SÁNCHEZ SANDOVAL
<b>PROYECTO</b>	: ADICIÓN DE CAL PARA ESTABILIZACIÓN DE SUBRASANTE EN EL DISEÑO DE PAVIMENTOS RIGIDOS EN UN DISTRITO DEL NORTE DEL PERU
<b>UBICACIÓN</b>	: CALLE 2
<b>PROGRESIVA</b>	: KM 0+050
<b>CALICATA</b>	: C - 1
<b>MUESTRA</b>	: TERRENO NATURAL + 10% DE CAL

<b>PROCTOR MODIFICADO</b>	<b>METODO</b>	B
	<b>MATERIAL</b>	TERRENO NATURAL
	<b>FECHA:</b>	18/10/2022

<b>MOLDE N°</b>	:	<b>1</b>			
<b>VOLUMEN</b>	:	<b>977</b>	cm <sup>3</sup>	--	pie <sup>3</sup>
<b>METODO DE COMPACTACION</b>	:	<b>AASHTO T - 180 D</b>			
- Peso Suelo Humedo + Molde	(g)	8126	8263	8380	8341
- Peso de Molde	(g)	6270	6270	6270	6270
- Peso Suelo Húmedo Compactado	(g)	1856	1993	2110	2071
- Peso Volumétrico Húmedo	(g)	1.900	2.040	2.160	2.120
- Recipiente N°		3	22	25	4
- Peso de Suelo Húmedo + Tara	(g)	292.04	301.40	316.88	316.49
- Peso de Suelo Seco + Tara	(g)	273.58	276.82	285.71	278.89
- Tara	(g)	22.36	27.48	33.36	25.69
- Peso de Agua	(g)	18.46	24.58	31.17	37.60
- Peso de Suelo Seco	(g)	251.22	249.34	252.35	253.20
- Contenido de agua	(%)	7.35	9.86	12.35	14.85
- Peso Volumétrico Seco	(g/cm <sup>3</sup> )	1.77	1.86	1.92	1.85

**Máxima Densidad Seca** : **1.92** gr/cm<sup>3</sup>  
**Óptimo Contenido de Humed:** : **12.57** %



EGEL-PM-1686-2022

Fuente: Propia

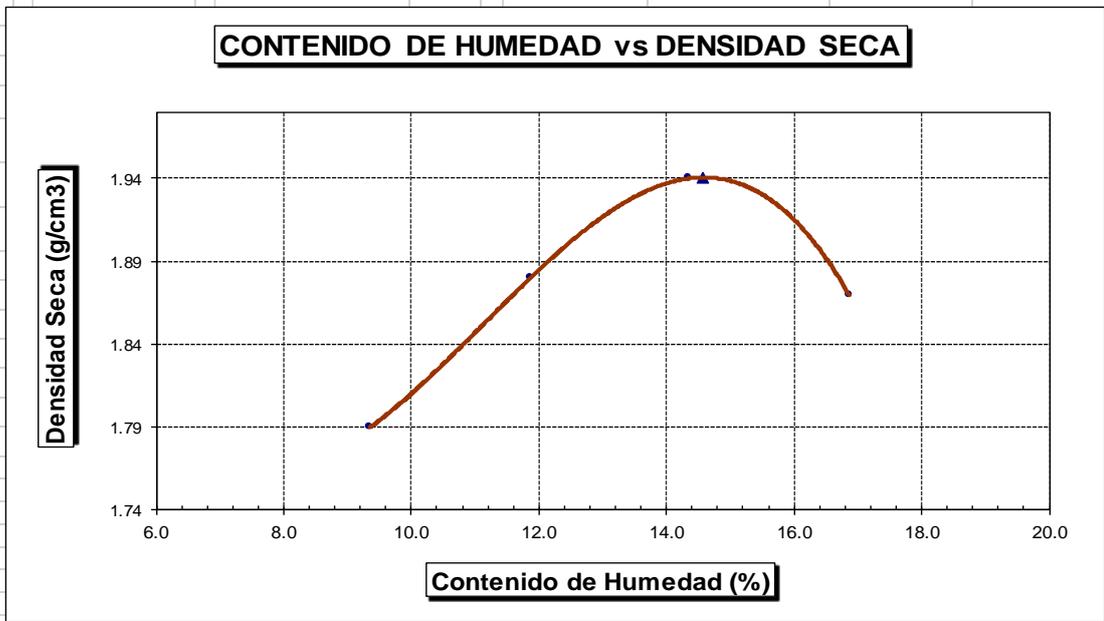
**Figura 17** Ensayo Proctor para suelo natural + 15% cal, calicata C-1

<b>TESISTA</b>	: MARIA ADELA SÁNCHEZ SANDOVAL
<b>PROYECTO</b>	: ADICIÓN DE CAL PARA ESTABILIZACIÓN DE SUBRASANTE EN EL DISEÑO DE PAVIMENTOS RIGIDOS EN UN DISTRITO DEL NORTE DEL PERU
<b>UBICACIÓN</b>	: CALLE 2
<b>PROGRESIVA</b>	: KM 0+050
<b>CALICATA</b>	: C - 1
<b>MUESTRA</b>	: TERRENO NATURAL + 15% DE CAL

<b>PROCTOR MODIFICADO</b>	<b>METODO</b>	B
	<b>MATERIAL</b>	TERRENO NATURAL
	<b>FECHA:</b>	18/10/2022

<b>MOLDE Nº</b>	:	<b>1</b>			
<b>VOLUMEN</b>	:	<b>977</b>	cm <sup>3</sup>	—	pie <sup>3</sup>
<b>METODO DE COMPACTACION</b>	:	<b>AASHTO T - 180 D</b>			
- Peso Suelo Húmedo + Molde	(g)	8185	8322	8439	8410
- Peso de Molde	(g)	6270	6270	6270	6270
- Peso Suelo Húmedo Compactado	(g)	1915	2052	2169	2140
- Peso Volumétrico Húmedo	(g)	1.960	2.100	2.220	2.190
- Recipiente Nº		71	7	81	56
- Peso de Suelo Húmedo + Tara	(g)	262.96	272.90	278.63	282.34
- Peso de Suelo Seco + Tara	(g)	242.91	247.70	247.71	245.89
- Tara	(g)	28.69	35.36	32.36	29.69
- Peso de Agua	(g)	20.05	25.20	30.92	36.45
- Peso de Suelo Seco	(g)	214.22	212.34	215.35	216.20
- Contenido de agua	(%)	9.36	11.87	14.36	16.86
- Peso Volumétrico Seco	(g/cm <sup>3</sup> )	1.79	1.88	1.94	1.87

Máxima Densidad Seca : **1.94** gr/cm<sup>3</sup>  
 Optimo Contenido de Humed: **14.58** %



EGEL-PM-1687-2022

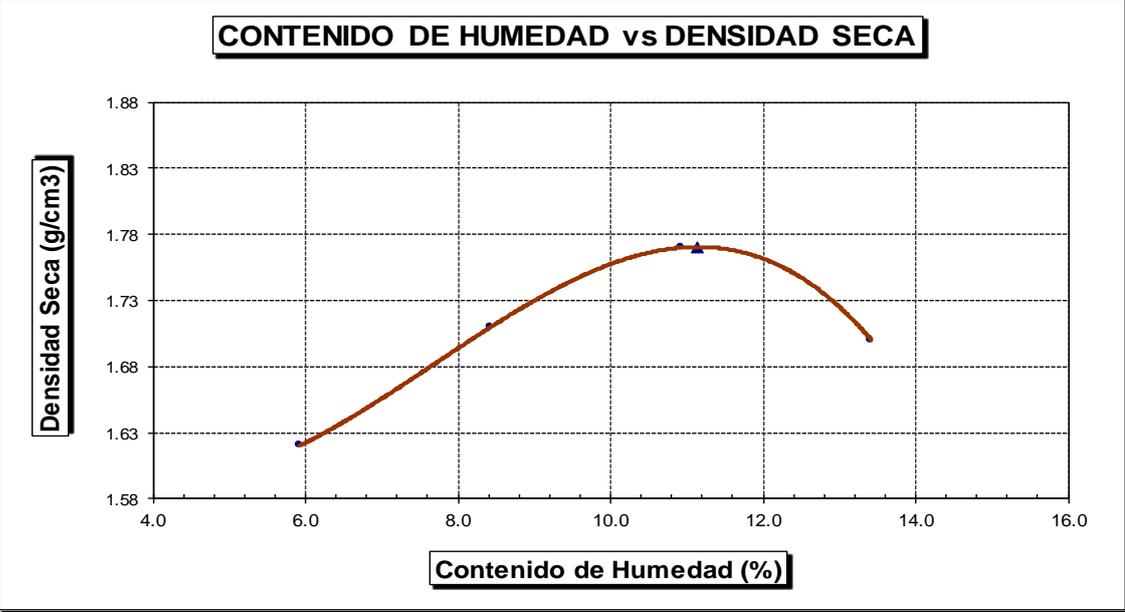
Fuente: Propia

**Figura 18** Ensayo Proctor para suelo natural calicata C-2

<b>TESISTA</b>	: MARIA ADELA SÁNCHEZ SANDOVAL				
<b>PROYECTO</b>	: ADICIÓN DE CAL PARA ESTABILIZACIÓN DE SUBRASANTE EN EL DISEÑO DE PAVIMENTOS RIGIDOS EN UN DISTRITO DEL NORTE DEL PERU				
<b>UBICACIÓN</b>	: CALLE 2				
<b>PROGRESIVA</b>	: KM 0+250				
<b>CALICATA</b>	: C - 2				
<b>MUESTRA</b>	: M - 1				
<b>PROFUNDIDAD</b>	: 0.50 - 1.50 mts				
<b>PROCTOR MODIFICADO</b>		<b>METODO</b>	B		
		<b>MATERIAL</b>	TERRENO NATURAL		
		<b>FECHA:</b>	17/10/2022		
<b>MOLDE N°</b>	:	<b>1</b>			
<b>VOLUMEN</b>	:	<b>977</b>	cm <sup>3</sup>	---	pie <sup>3</sup>
<b>METODO DE COMPACTACION</b>	:	<b>AASHTO T - 180 D</b>			
- Peso Suelo Humedo + Molde	(g)	7950	8077	8185	8156
- Peso de Molde	(g)	6270	6270	6270	6270
- Peso Suelo Húmedo Compactado	(g)	1680	1807	1915	1886
- Peso Volumétrico Húmedo	(g)	1.720	1.850	1.960	1.930
- Recipiente N°		93	35	46	26
- Peso de Suelo Húmedo + Tara	(g)	255.46	262.60	261.65	264.73
- Peso de Suelo Seco + Tara	(g)	242.78	244.70	238.13	235.72
- Tara	(g)	28.56	32.36	22.78	19.52
- Peso de Agua	(g)	12.68	17.90	23.52	29.01
- Peso de Suelo Seco	(g)	214.22	212.34	215.35	216.20
- Contenido de agua	(%)	5.92	8.43	10.92	13.42
- Peso Volumétrico Seco	(g/cm <sup>3</sup> )	1.62	1.71	1.77	1.70
<b>Máxima Densidad Seca</b>		:	<b>1.77</b>	gr/cm <sup>3</sup>	
<b>Óptimo Contenido de Humed:</b>		:	<b>11.14</b>	%	

**CONTENIDO DE HUMEDAD vs DENSIDAD SECA**



EGEL-PM-1682-2022

Fuente: Propia

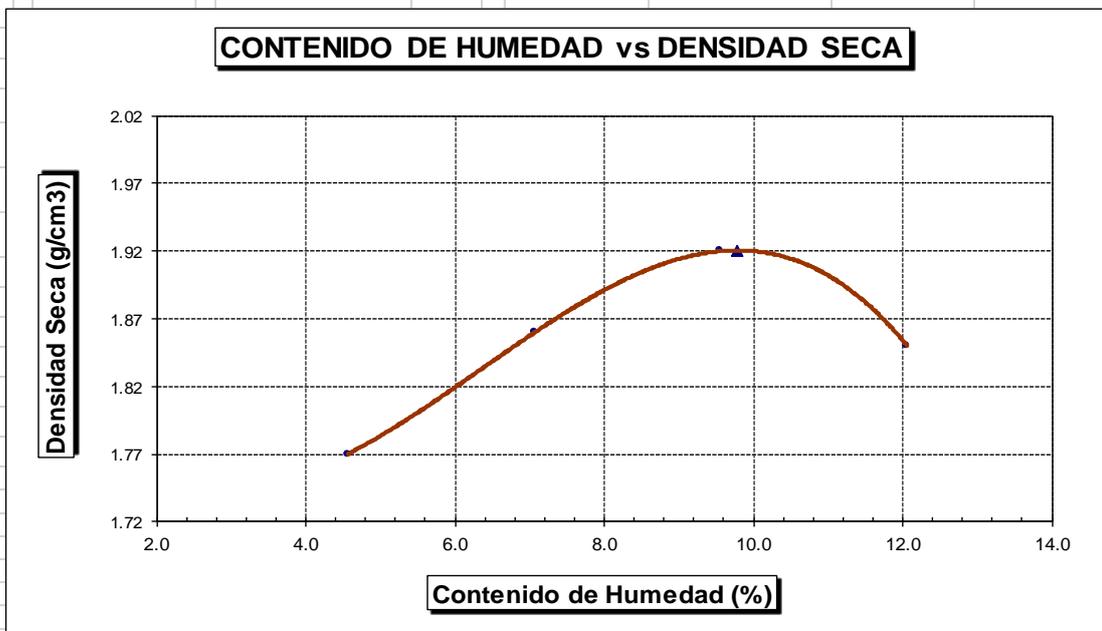
**Figura 19** Ensayo Proctor para suelo natural + 5% cal, calicata C-2

<b>PROYECTO</b>	: ADICIÓN DE CAL PARA ESTABILIZACIÓN DE SUBRASANTE EN EL DISEÑO DE PAVIMENTOS RIGIDOS EN UN DISTRITO DEL NORTE DEL PERU
<b>UBICACIÓN</b>	: CALLE 2
<b>PROGRESIVA</b>	: KM 0+250
<b>CALICATA</b>	: C - 2
<b>MUESTRA</b>	: TERRENO NATURAL + 5% DE CAL

<b>PROCTOR MODIFICADO</b>	<b>METODO</b>	B
	<b>MATERIAL</b>	TERRENO NATURAL
	<b>FECHA:</b>	18/10/2022

<b>MOLDE N°</b>	:	<b>3</b>			
<b>VOLUMEN</b>	:	<b>987</b>	cm <sup>3</sup>	---	pie <sup>3</sup>
<b>METODO DE COMPACTACION</b>	:	<b>AASHTO T - 180 D</b>			
- Peso Suelo Humedo + Molde	(g)	8096	8234	8343	8313
- Peso de Molde	(g)	6270	6270	6270	6270
- Peso Suelo Húmedo Compactado	(g)	1826	1964	2073	2043
- Peso Volumétrico Húmedo	(g)	1.850	1.990	2.100	2.070
- Recipiente N°		16	27	44	16
- Peso de Suelo Húmedo + Tara	(g)	302.88	311.12	314.23	318.19
- Peso de Suelo Seco + Tara	(g)	290.92	292.71	289.05	286.33
- Tara	(g)	28.69	32.36	25.69	22.12
- Peso de Agua	(g)	11.96	18.41	25.18	31.86
- Peso de Suelo Seco	(g)	262.23	260.35	263.36	264.21
- Contenido de agua	(%)	4.56	7.07	9.56	12.06
- Peso Volumétrico Seco	(g/cm <sup>3</sup> )	1.77	1.86	1.92	1.85

Máxima Densidad Seca : **1.92** gr/cm<sup>3</sup>  
 Óptimo Contenido de Humed: **9.78** %



EGEL-PM-1688-2022

Fuente: Propia

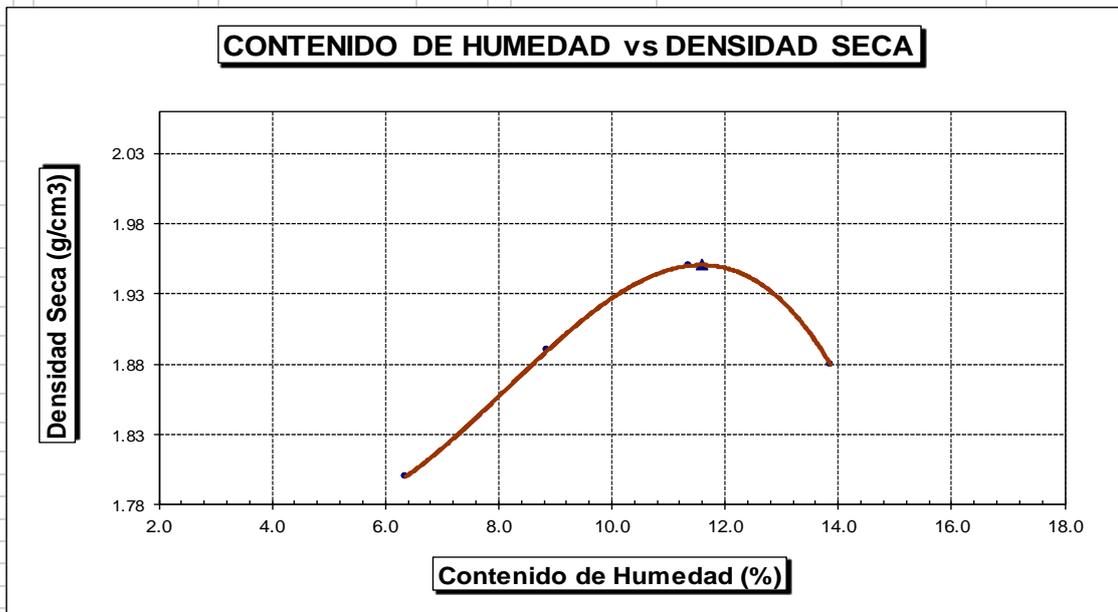
**Figura 20** *Ensayo Proctor para suelo natural + 10% cal, calicata C-2*

<b>TESISTA</b>	: MARIA ADELA SÁNCHEZ SANDOVAL
<b>PROYECTO</b>	: ADICIÓN DE CAL PARA ESTABILIZACIÓN DE SUBRASANTE EN EL DISEÑO DE PAVIMENTOS RIGIDOS EN UN DISTRITO DEL NORTE DEL PERU
<b>UBICACIÓN</b>	: CALLE 2
<b>PROGRESIVA</b>	: KM 0+250
<b>CALICATA</b>	: C - 2
<b>MUESTRA</b>	: TERRENO NATURAL + 10% DE CAL

<b>PROCTOR MODIFICADO</b>	<b>METODO</b>	B
	<b>MATERIAL</b>	TERRENO NATURAL
	<b>FECHA:</b>	18/10/2022

<b>MOLDE N°</b>	:	<b>3</b>			
<b>VOLUMEN</b>	:	<b>987</b>	cm <sup>3</sup>	--	pie <sup>3</sup>
<b>METODO DE COMPACTACION</b>	:	<b>AASHTO T - 180 D</b>			
- Peso Suelo Humedo + Molde	(g)	8155	8303	8412	8382
- Peso de Molde	(g)	6270	6270	6270	6270
- Peso Suelo Húmedo Compactado	(g)	1885	2033	2142	2112
- Peso Volumétrico Húmedo	(g)	1.910	2.060	2.170	2.140
- Recipiente N°		41	52	4	29
- Peso de Suelo Húmedo + Tara	(g)	369.06	384.44	401.33	407.82
- Peso de Suelo Seco + Tara	(g)	348.57	356.03	364.60	362.89
- Tara	(g)	26.35	35.69	41.25	38.69
- Peso de Agua	(g)	20.49	28.41	36.73	44.93
- Peso de Suelo Seco	(g)	322.22	320.34	323.35	324.20
- Contenido de agua	(%)	6.36	8.87	11.36	13.86
- Peso Volumétrico Seco	(g/cm <sup>3</sup> )	1.80	1.89	1.95	1.88

**Máxima Densidad Seca** : **1.95** gr/cm<sup>3</sup>  
**Óptimo Contenido de Humed:** **11.58** %



EGEL-PM-1689-2022

Fuente: Propia

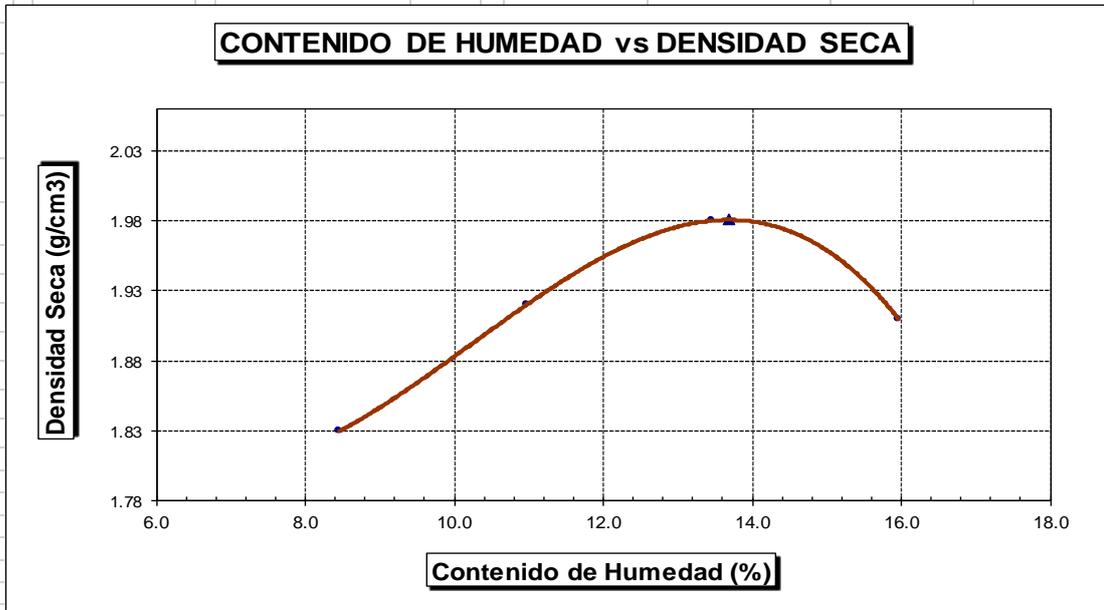
**Figura 21** Ensayo Proctor para suelo natural + 15% cal, calicata C-2

<b>TESISTA</b>	: MARIA ADELA SÁNCHEZ SANDOVAL
<b>PROYECTO</b>	: ADICIÓN DE CAL PARA ESTABILIZACIÓN DE SUBRASANTE EN EL DISEÑO DE PAVIMENTOS RIGIDOS EN UN DISTRITO DEL NORTE DEL PERU
<b>UBICACIÓN</b>	: CALLE 2
<b>PROGRESIVA</b>	: KM 0+250
<b>CALICATA</b>	: C - 2
<b>MUESTRA</b>	: TERRENO NATURAL + 15% DE CAL

<b>PROCTOR MODIFICADO</b>	<b>METODO</b>	B
	<b>MATERIAL</b>	TERRENO NATURAL
	<b>FECHA:</b>	18/10/2022

<b>MOLDE N°</b>	:	<b>3</b>			
<b>VOLUMEN</b>	:	<b>987</b>	cm <sup>3</sup>	--	pie <sup>3</sup>
<b>METODO DE COMPACTACION</b>	:	<b>AASHTO T - 180 D</b>			
- Peso Suelo Húmedo + Molde	(g)	8224	8372	8491	8451
- Peso de Molde	(g)	6270	6270	6270	6270
- Peso Suelo Húmedo Compactado	(g)	1954	2102	2221	2181
- Peso Volumétrico Húmedo	(g)	1.980	2.130	2.250	2.210
- Recipiente N°		19	93	35	74
- Peso de Suelo Húmedo + Tara	(g)	333.43	340.67	357.77	363.94
- Peso de Suelo Seco + Tara	(g)	309.48	309.82	319.51	318.44
- Tara	(g)	26.36	28.58	35.26	33.34
- Peso de Agua	(g)	23.95	30.85	38.26	45.50
- Peso de Suelo Seco	(g)	283.12	281.24	284.25	285.10
- Contenido de agua	(%)	8.46	10.97	13.46	15.96
- Peso Volumétrico Seco	(g/cm <sup>3</sup> )	1.83	1.92	1.98	1.91

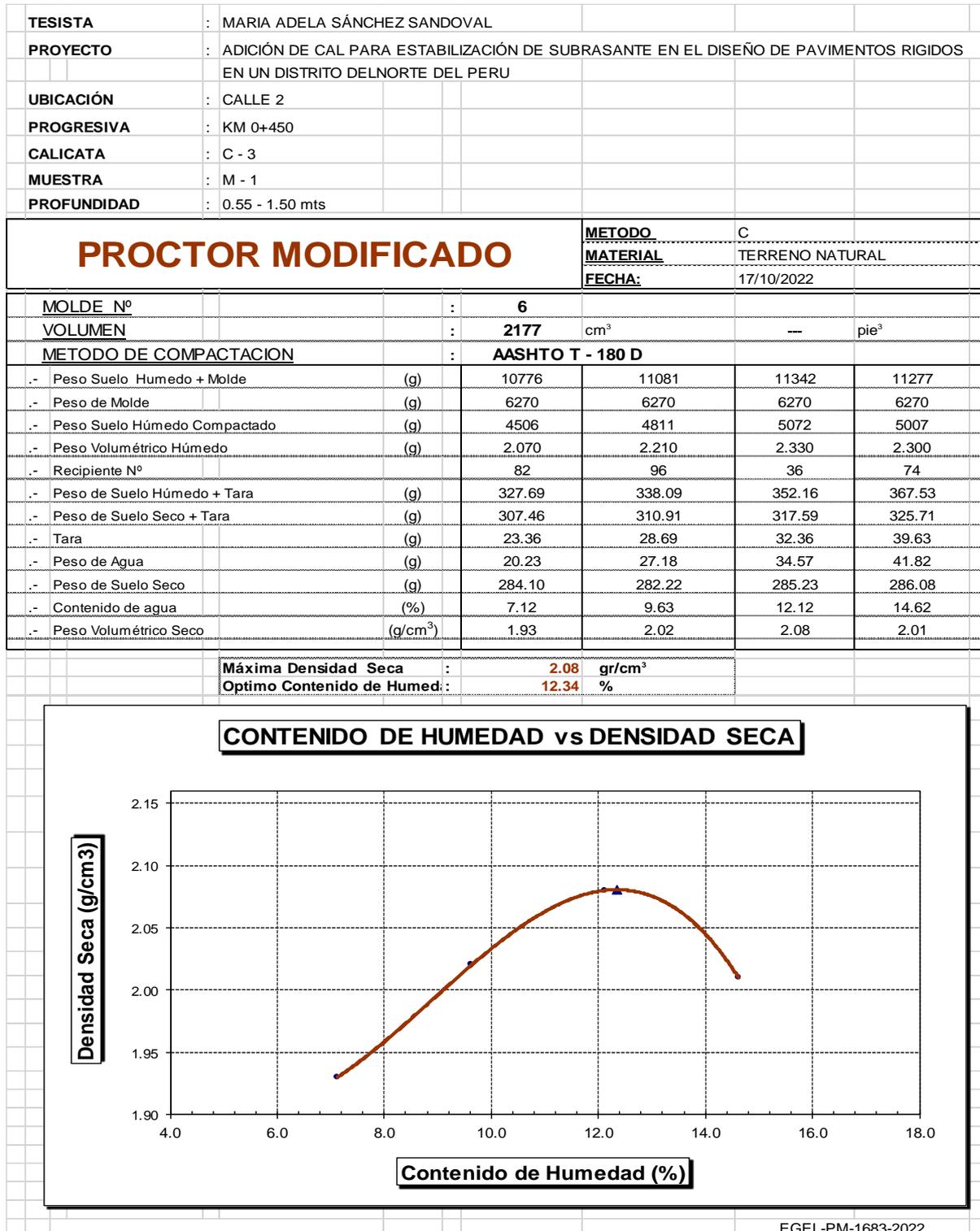
Máxima Densidad Seca : **1.98** gr/cm<sup>3</sup>  
 Óptimo Contenido de Humed: **13.68** %



EGEL-PM-1690-2022

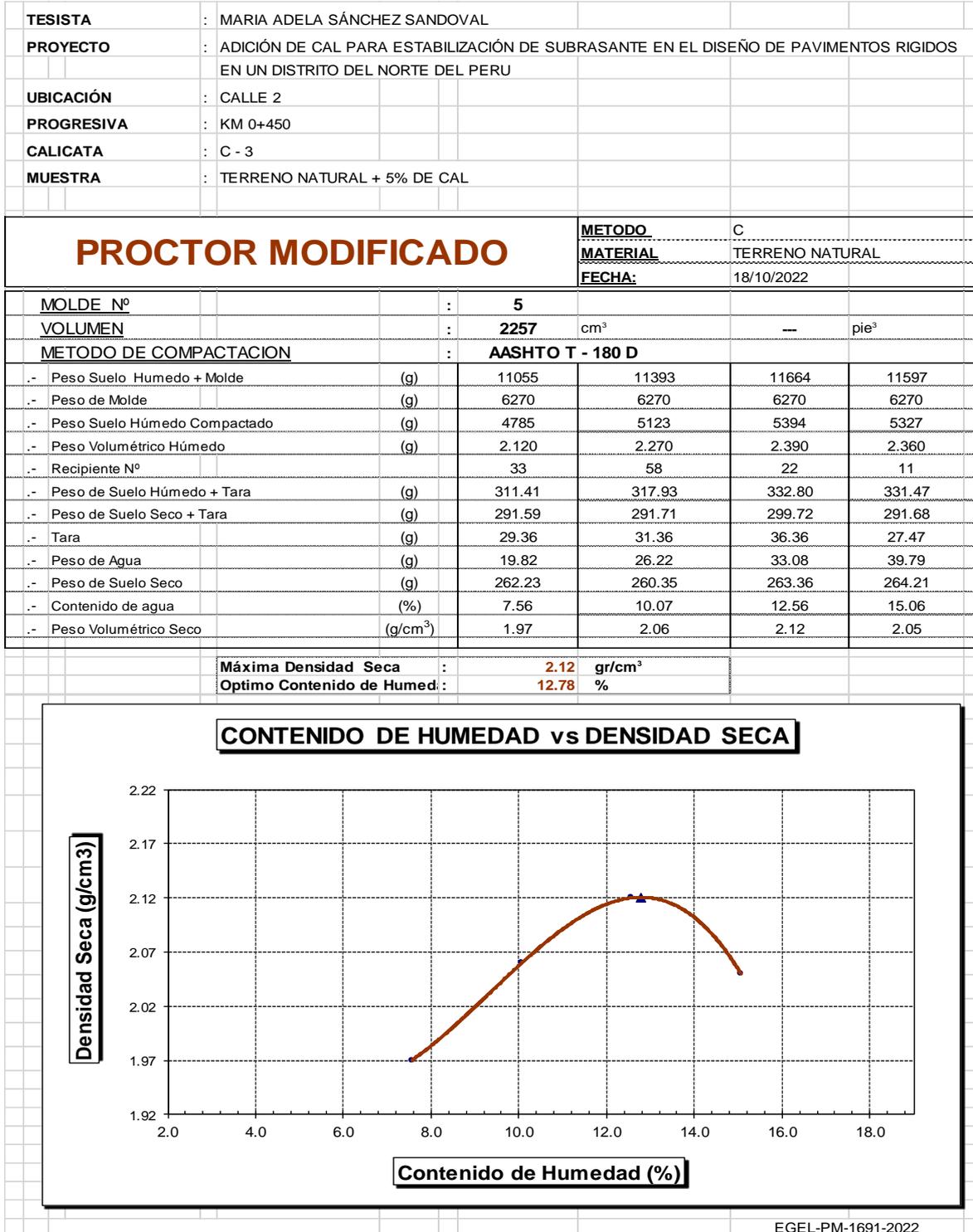
Fuente: Propia

Figura 22 Ensayo Proctor para suelo natural calicata C-3



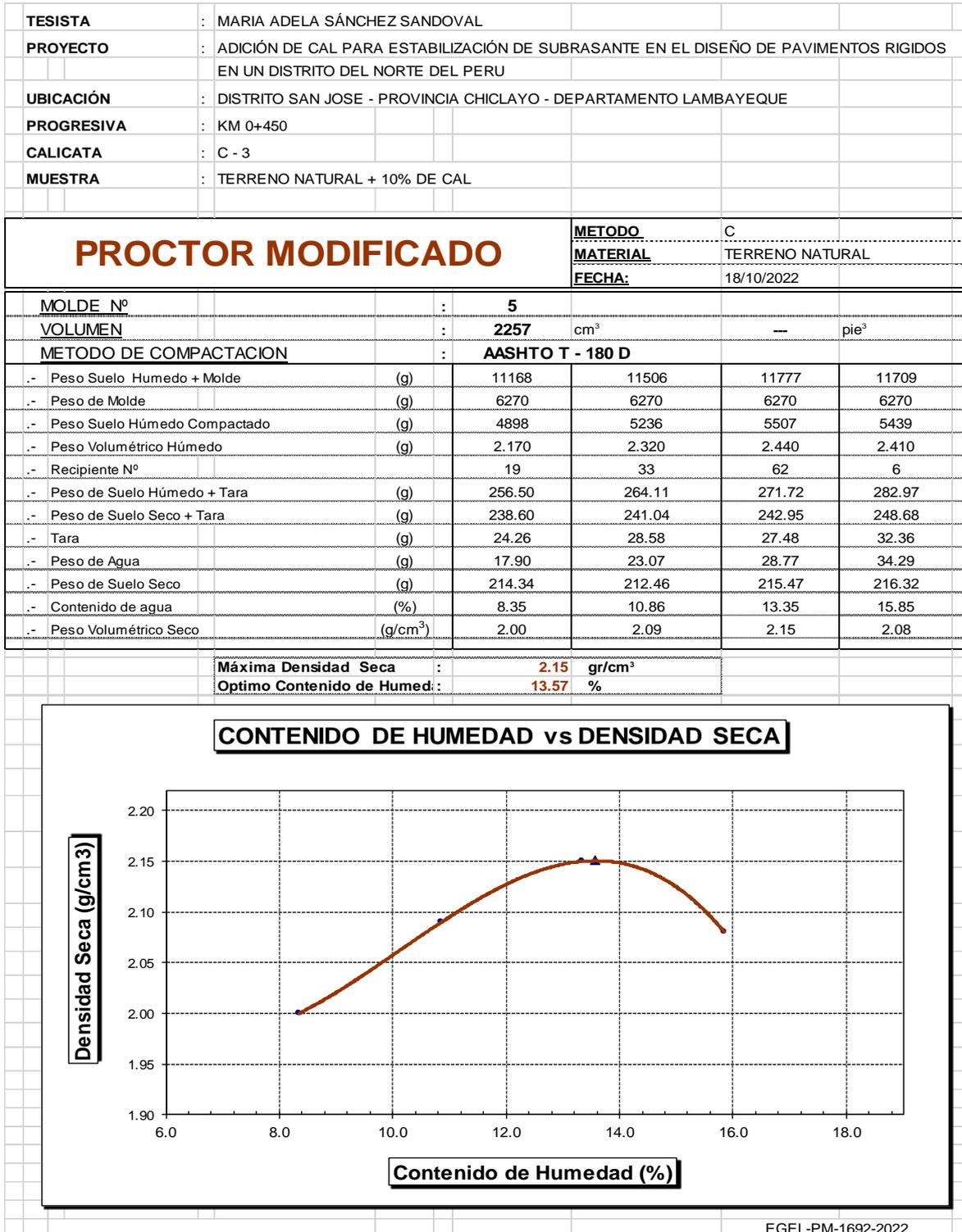
Fuente: Propia

**Figura 23** Ensayo Proctor para suelo natural + 5% cal, calicata C-3



Fuente: Propia

Figura 24 Ensayo Proctor para suelo natural + 10% cal, calicata C-3



Fuente: Propia

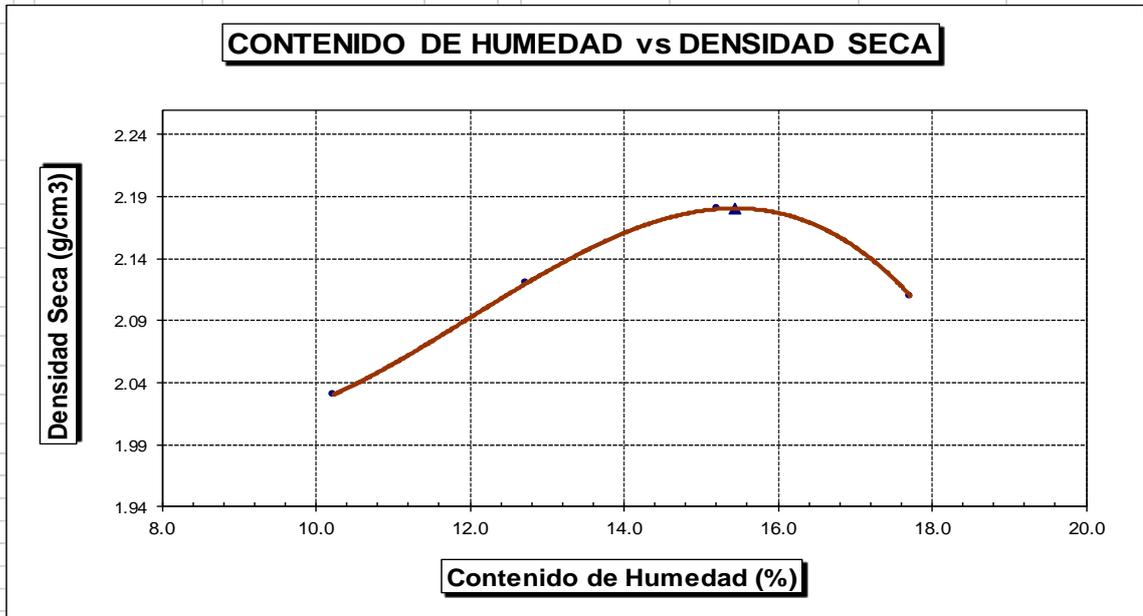
Figura 25 Ensayo Proctor para suelo natural + 15% cal, calicata C-3

TESISTA	: MARIA ADELA SÁNCHEZ SANDOVAL
PROYECTO	: ADICIÓN DE CAL PARA ESTABILIZACIÓN DE SUBRASANTE EN EL DISEÑO DE PAVIMENTOS RIGIDOS EN UN DISTRITO DEL NORTE DEL PERU
UBICACIÓN	: CALLE 2
PROGRESIVA	: KM 0+450
CALICATA	: C - 3
MUESTRA	: TERRENO NATURAL + 15% DE CAL

<b>PROCTOR MODIFICADO</b>	<b>METODO</b>	C
	<b>MATERIAL</b>	TERRENO NATURAL
	<b>FECHA:</b>	18/10/2022

MOLDE N°	:	5			
VOLUMEN	:	2257	cm <sup>3</sup>	--	pie <sup>3</sup>
METODO DE COMPACTACION	:	AASHTO T - 180 D			
- Peso Suelo Humedo + Molde	(g)	11326	11664	11935	11867
- Peso de Molde	(g)	6270	6270	6270	6270
- Peso Suelo Húmedo Compactado	(g)	5056	5394	5665	5597
- Peso Volumétrico Húmedo	(g)	2.240	2.390	2.510	2.480
- Recipiente N°		37	62	36	15
- Peso de Suelo Húmedo + Tara	(g)	259.96	265.08	267.93	270.98
- Peso de Suelo Seco + Tara	(g)	238.58	238.69	235.91	233.56
- Tara	(g)	29.36	31.35	25.56	22.36
- Peso de Agua	(g)	21.38	26.39	32.02	37.42
- Peso de Suelo Seco	(g)	209.22	207.34	210.35	211.20
- Contenido de agua	(%)	10.22	12.73	15.22	17.72
- Peso Volumétrico Seco	(g/cm <sup>3</sup> )	2.03	2.12	2.18	2.11

Máxima Densidad Seca : 2.18 gr/cm<sup>3</sup>  
 Optimo Contenido de Humed: 15.44 %



EGEL-PM-1693-2022

Fuente: Propia

**Figura 26** Muestra gráfica de ensayos Proctor



Fuente: Propia

**Tabla 10** Resultados Proctor calicata C-1

Muestras C-1	Contenido óptimo de humedad (%)	Máxima densidad seca (gr/cm <sup>3</sup> )
Suelo natural	11.47	1.74
Suelo natural + 5% cal	10.34	1.90
Suelo natural + 10% cal	12.57	1.92
Suelo natural + 15% cal	14.58	1.94

Fuente: Propia

**Tabla 11** Resultados Proctor calicata C-2

Muestras C-2	Contenido óptimo de humedad (%)	Máxima densidad seca (gr/cm <sup>3</sup> )
Suelo natural	11.14	1.77
Suelo natural + 5% cal	9.78	1.92
Suelo natural + 10% cal	11.58	1.95
Suelo natural + 15% cal	13.68	1.98

Fuente: Propia

**Tabla 12** Resultados Proctor calicata C-3

Muestras C-3	Contenido óptimo de humedad (%)	Máxima densidad seca (gr/cm <sup>3</sup> )
Suelo natural	12.34	2.08
Suelo natural + 5% cal	12.78	2.12
Suelo natural + 10% cal	13.57	2.15
Suelo natural + 15% cal	15.44	2.18

*Fuente:* Propia

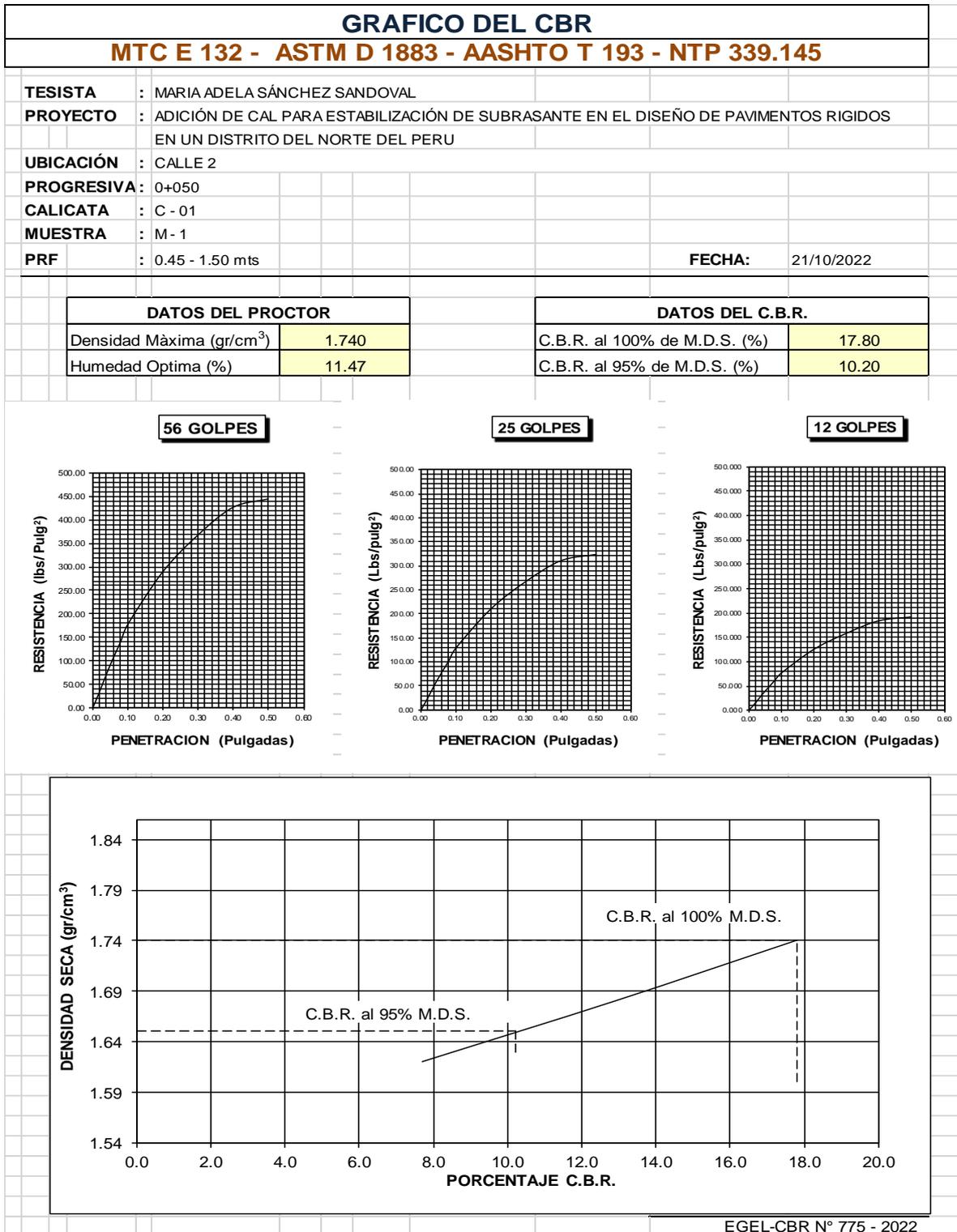
Para la evaluación de la subrasante sobre la que se colocará la estructura del pavimento, se aplicaron los ensayos CBR a partir de las muestras de las calicatas extraídas, se ha evaluado la capacidad portante de estas muestras de terreno para poder soportar las capas del pavimento para el diseño.

**Figura 27** Muestra gráfica de ensayos CBR



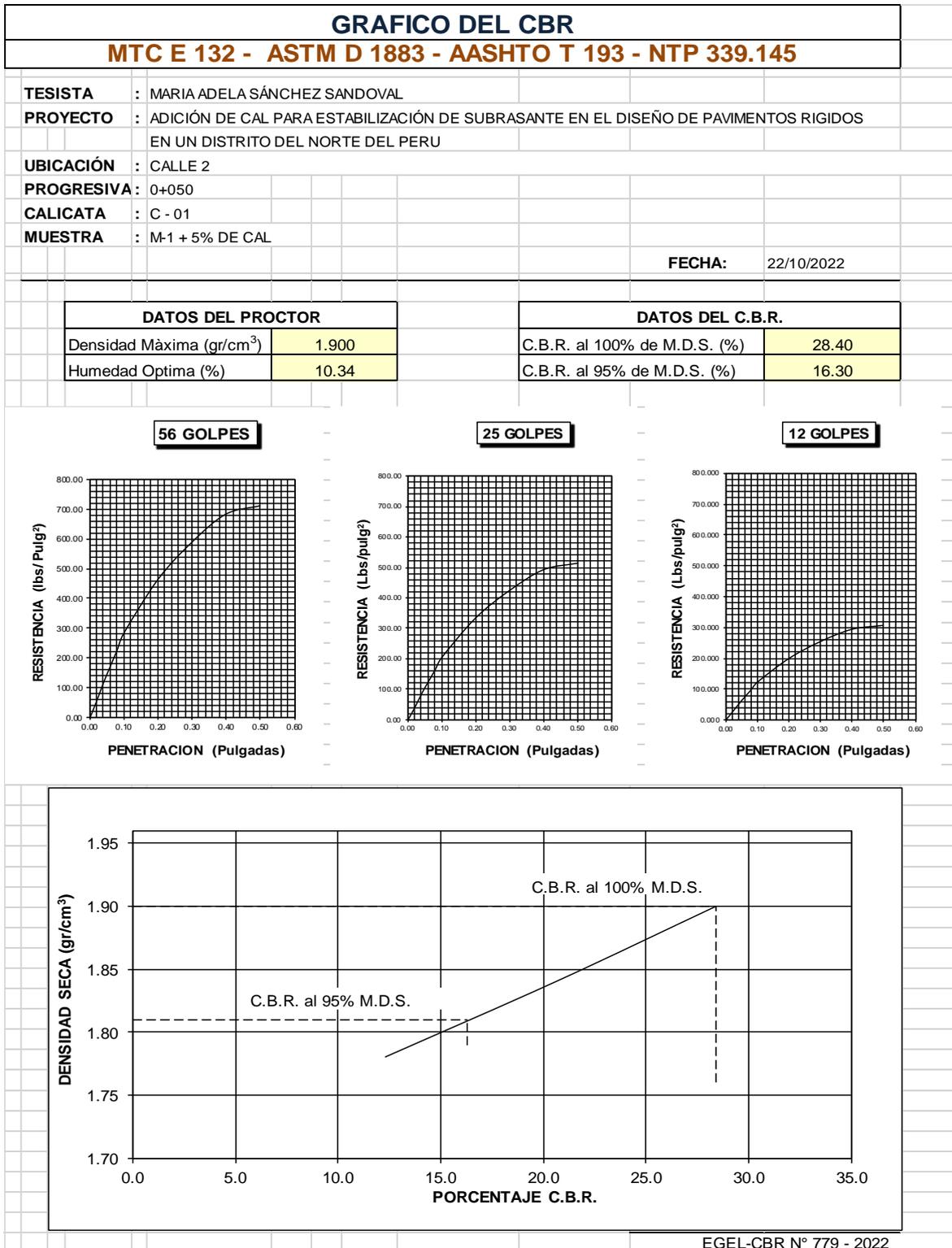
*Fuente:* Propia

Figura 28 Ensayo CBR calicata C-1, suelo natural



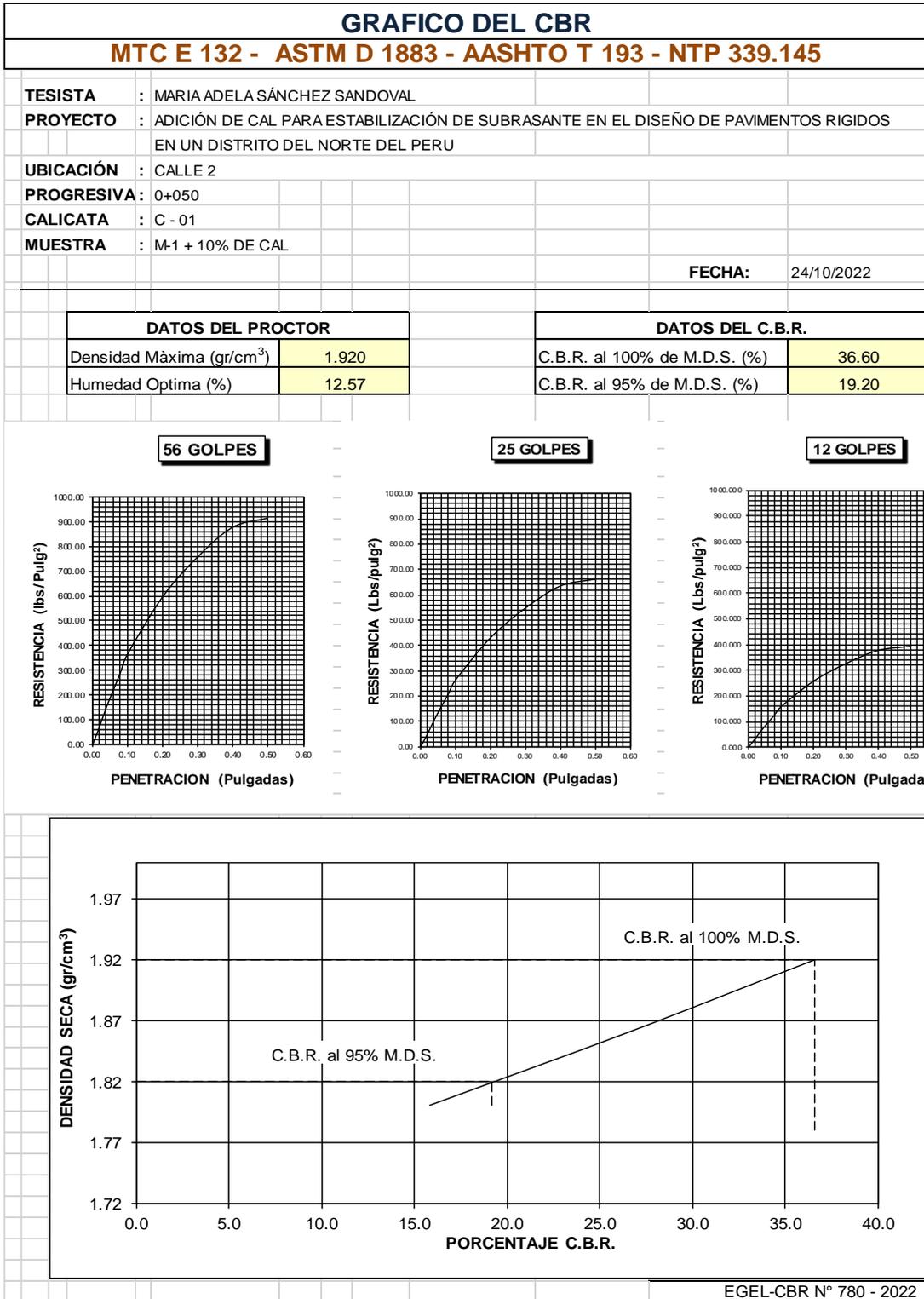
Fuente: Propia

Figura 29 Ensayo CBR calicata C-1, suelo+5% cal



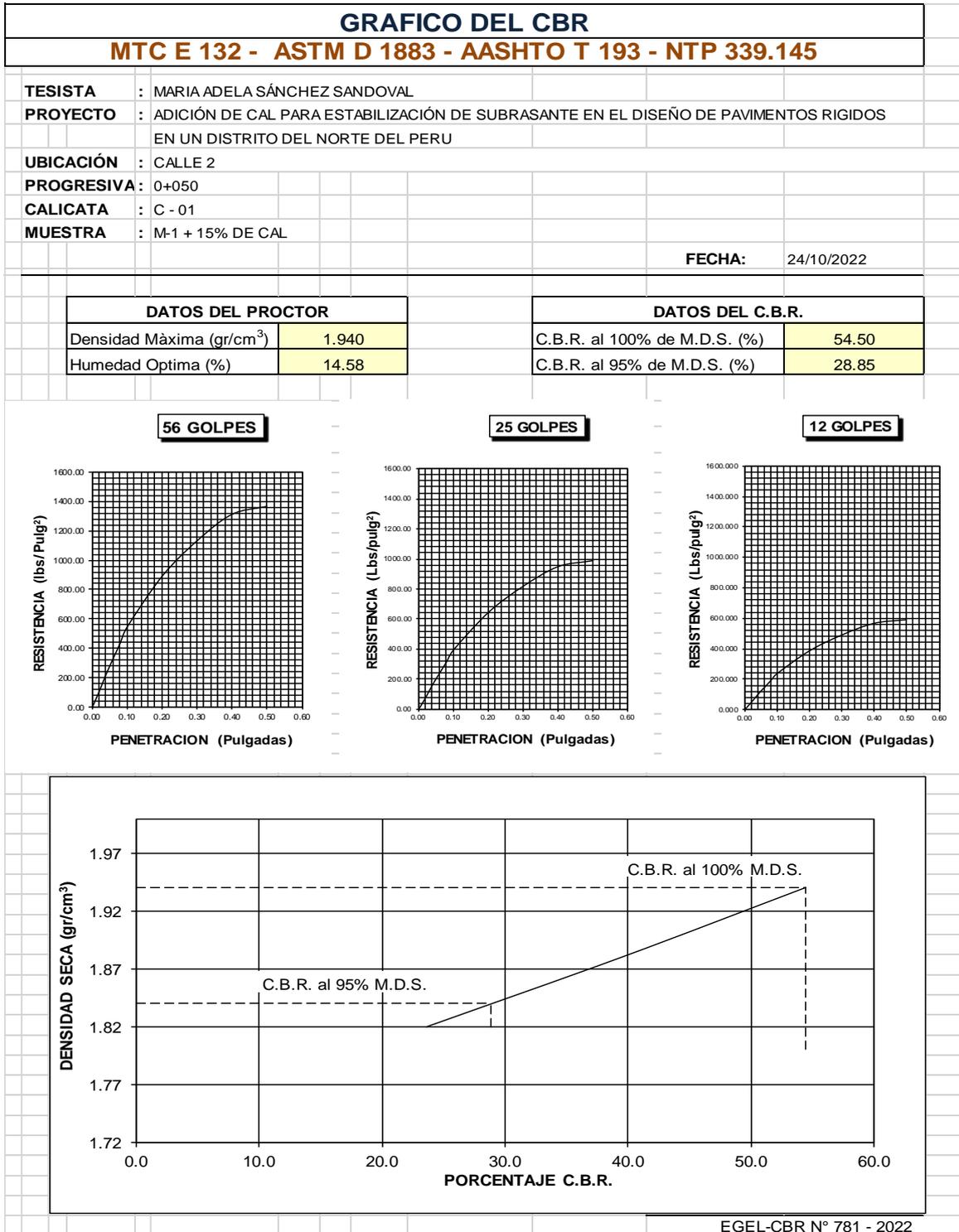
Fuente: Propia

Figura 30 Ensayo CBR calicata C-1, suelo+10% cal



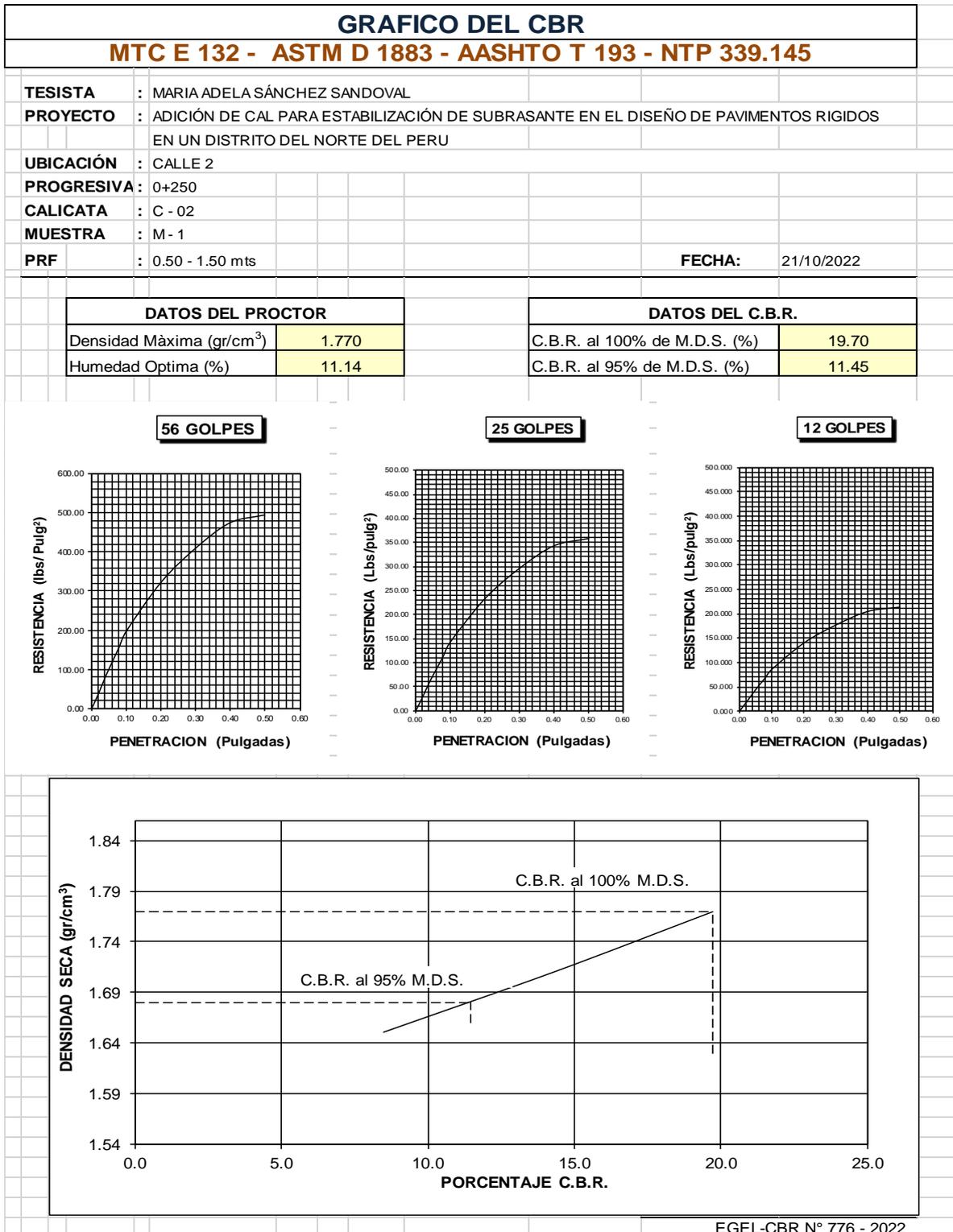
Fuente: Propia

Figura 31 Ensayo CBR calicata C-1, suelo+15% cal



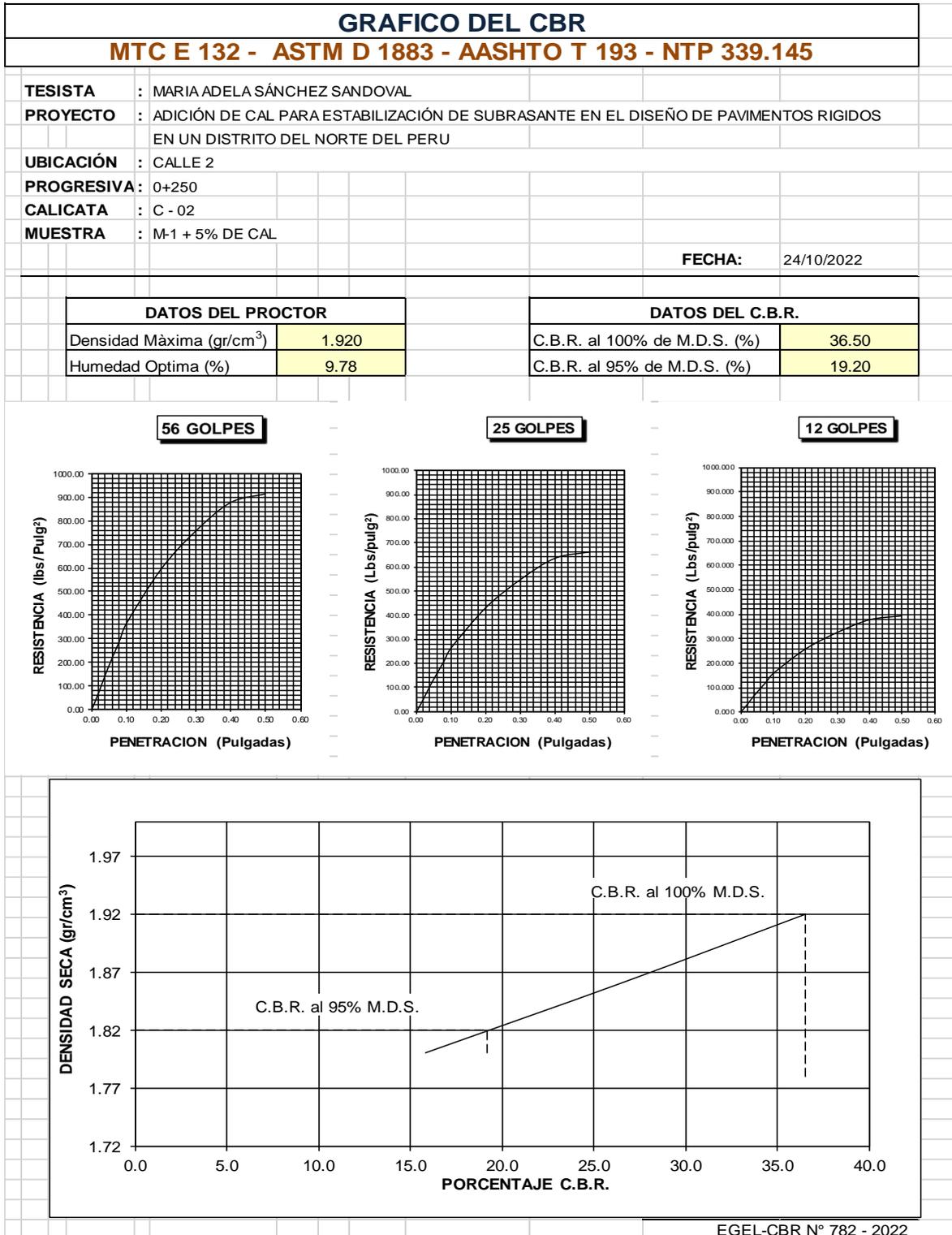
Fuente: Propia

Figura 32 Ensayo CBR calicata C-2, suelo natural



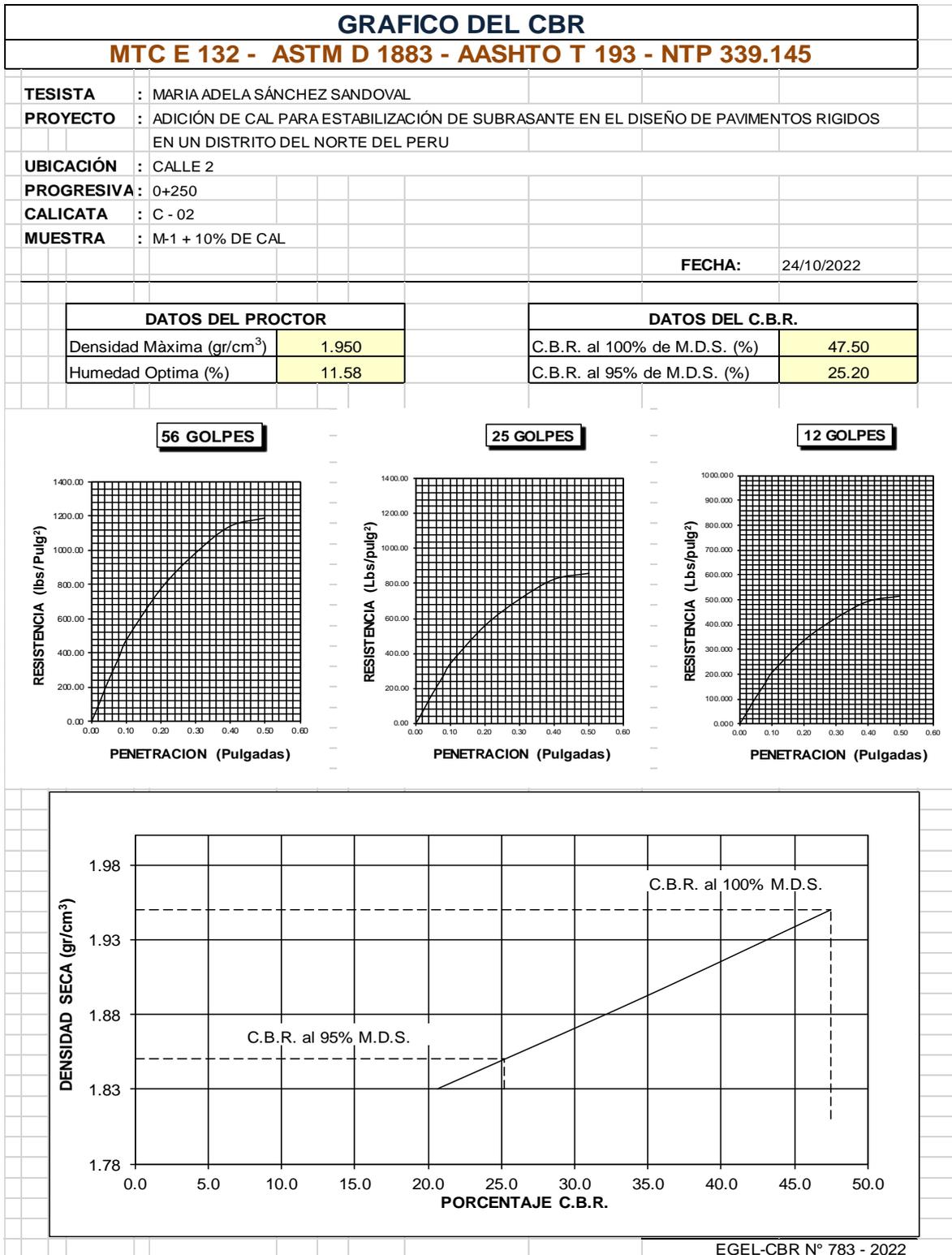
Fuente: Propia

Figura 33 Ensayo CBR calicata C-2, suelo+5% cal



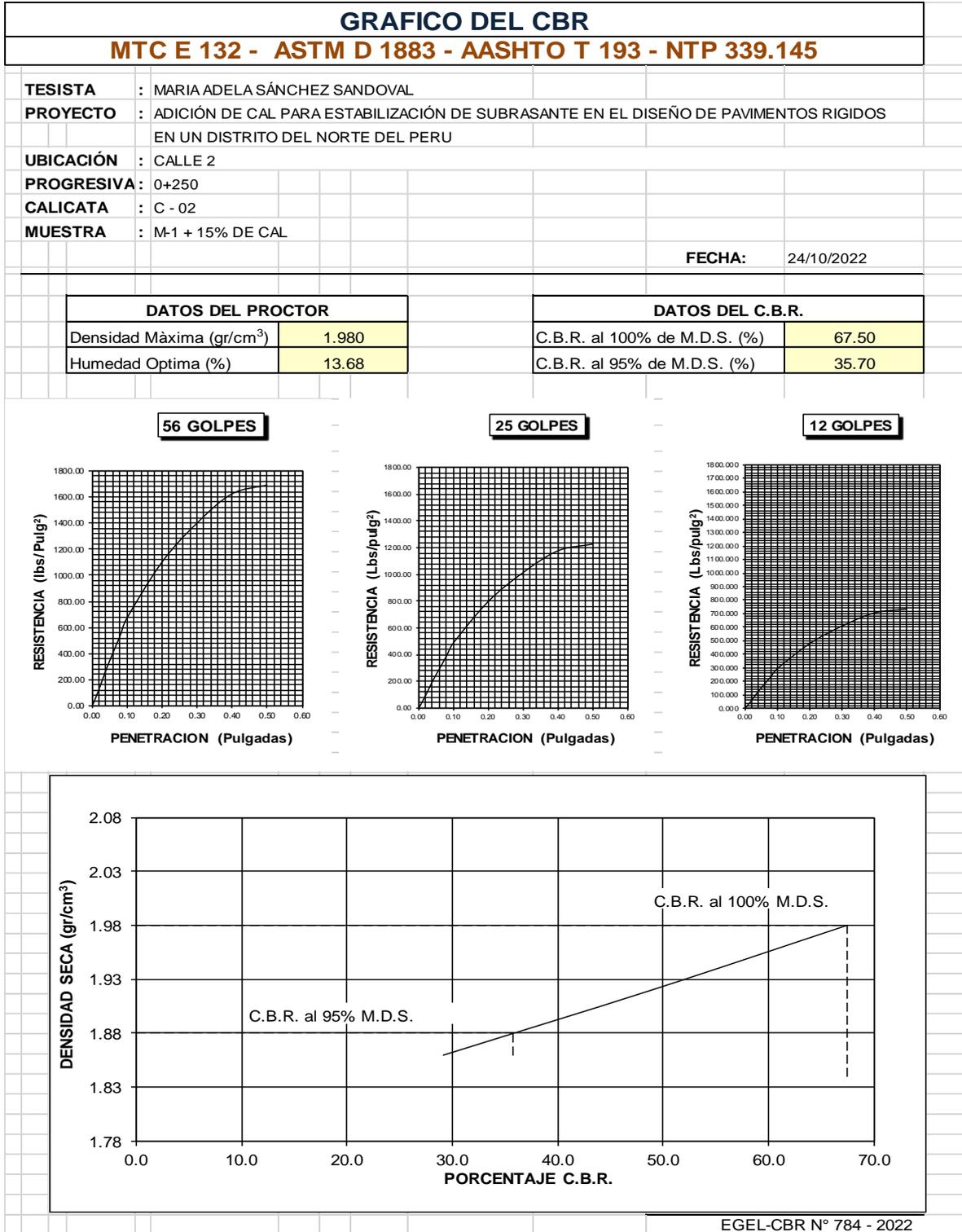
Fuente: Propia

Figura 34 Ensayo CBR calicata C-2, suelo+10% cal



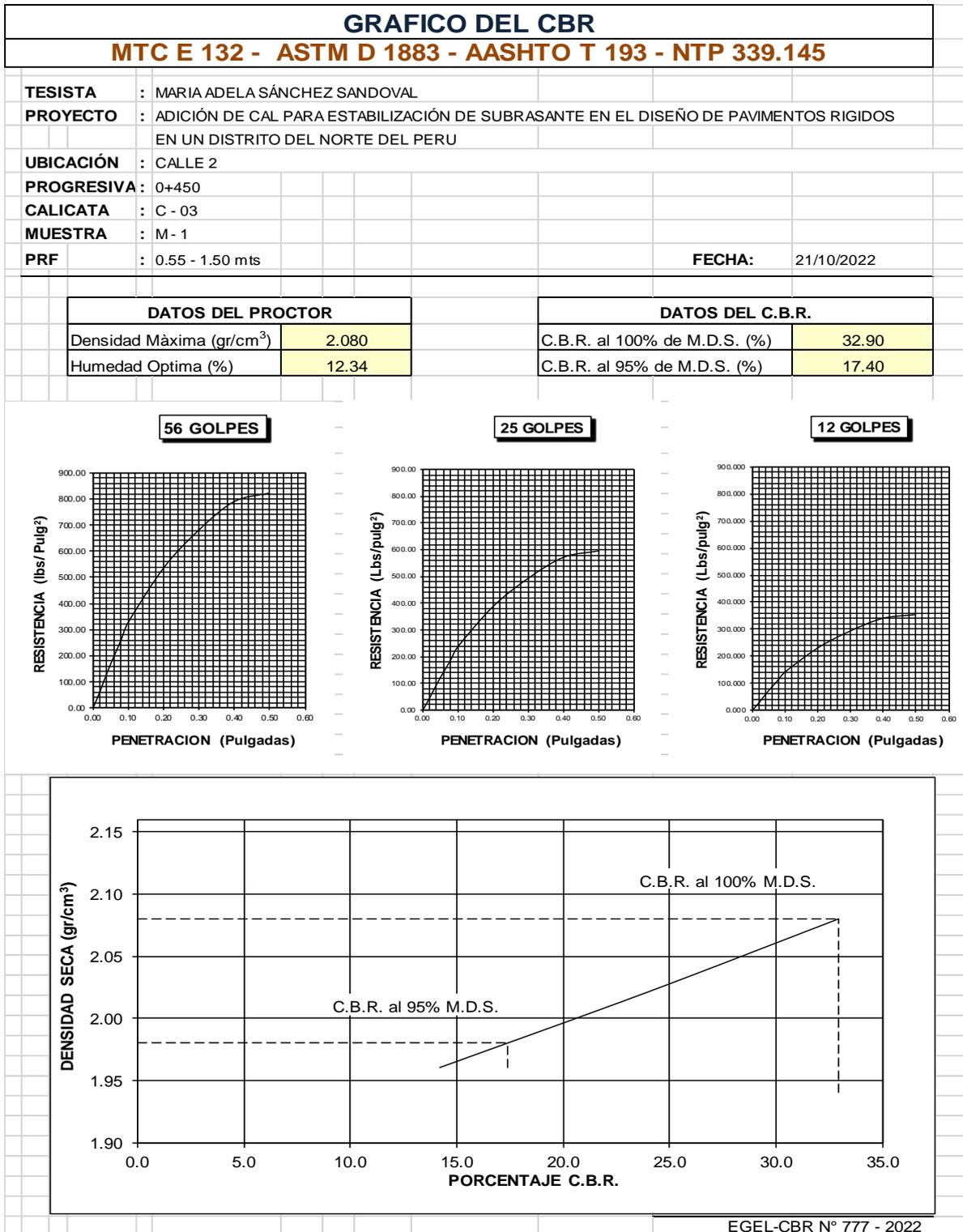
Fuente: Propia

Figura 35 Ensayo CBR calicata C-2, suelo+15% cal



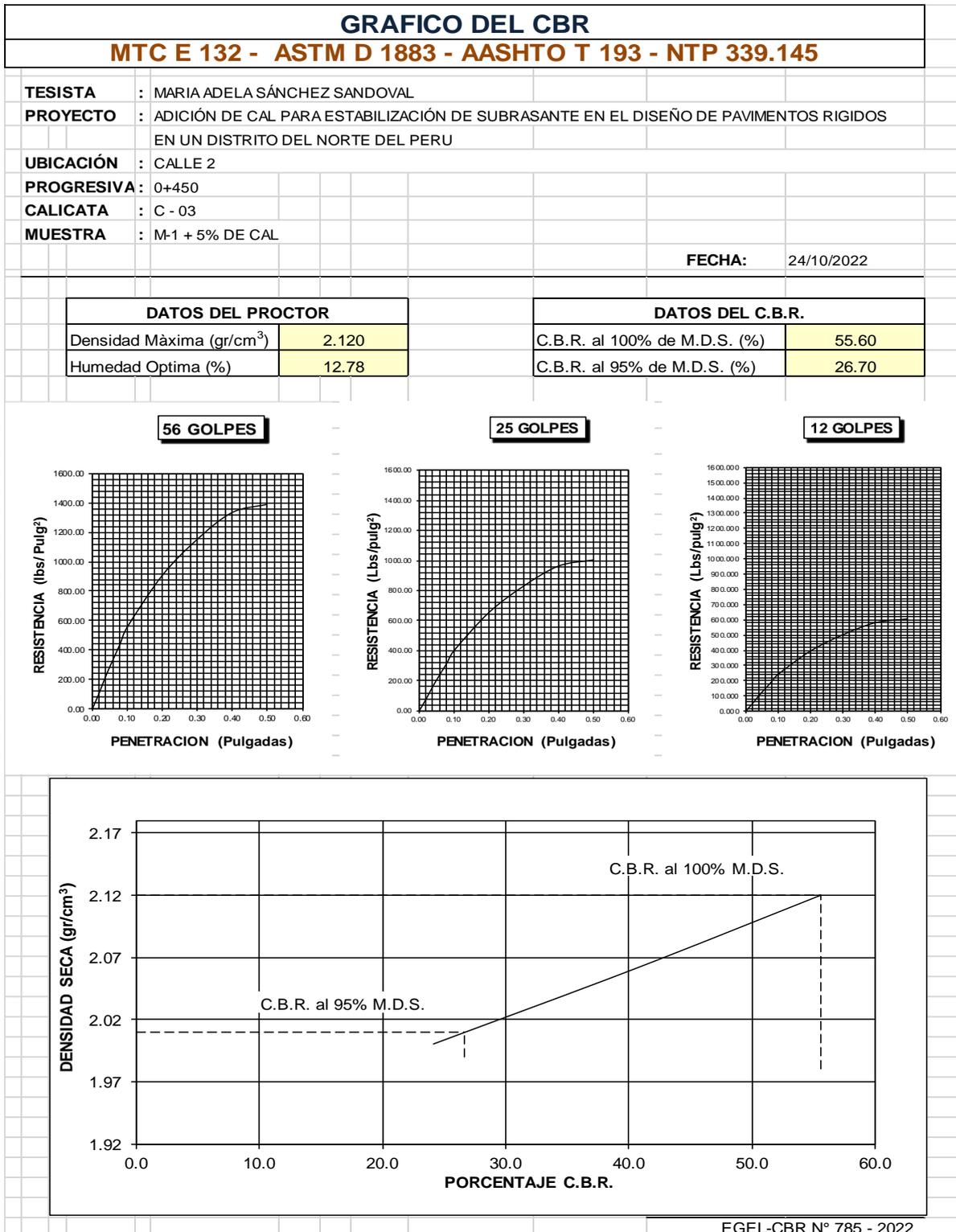
Fuente: Propia

Figura 36 Ensayo CBR calicata C-3, suelo natural



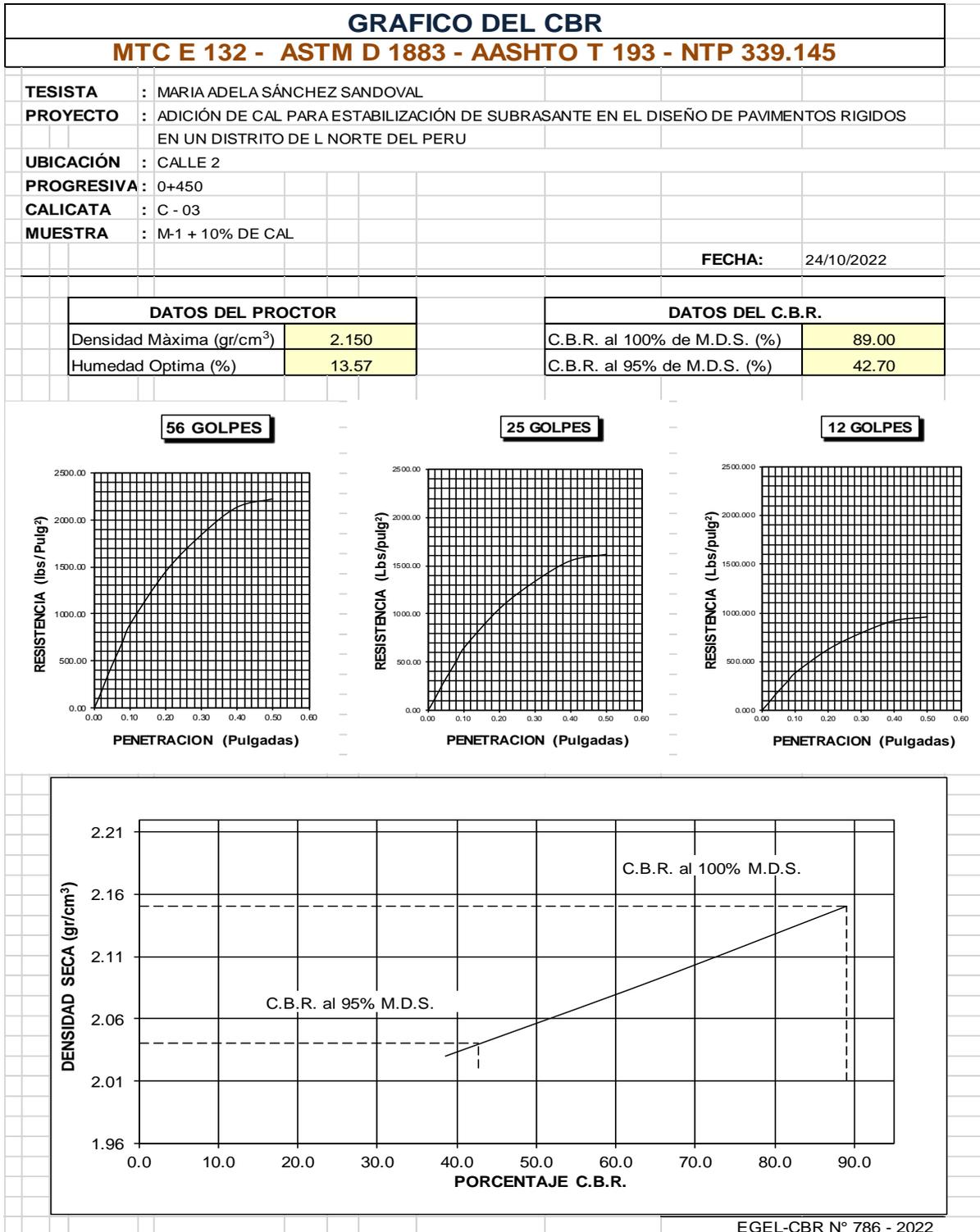
Fuente: Propia

Figura 37 Ensayo CBR calicata C-3, suelo+5% cal



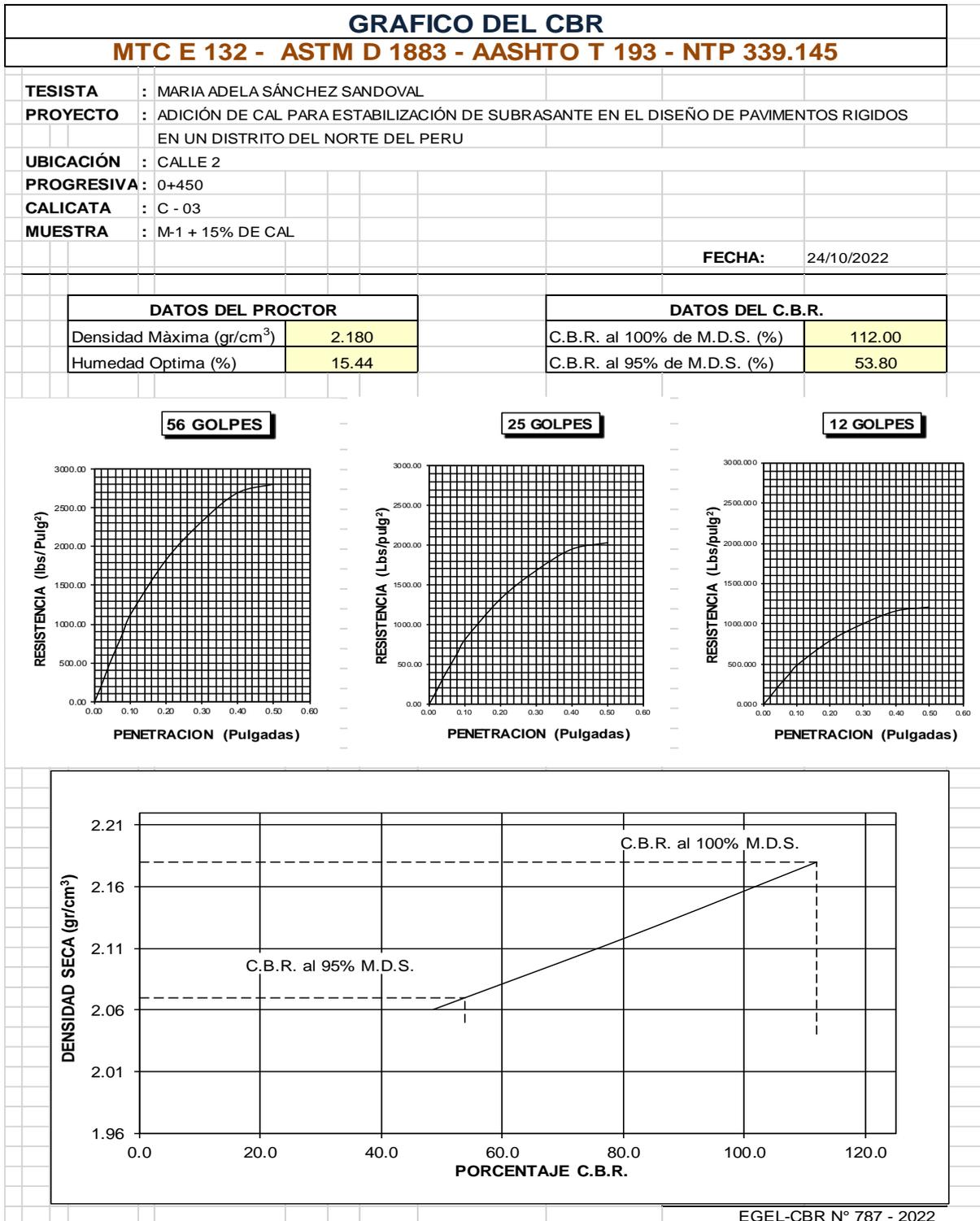
Fuente: Propia

Figura 38 Ensayo CBR calicata C-3, suelo+10% cal



Fuente: Propia

Figura 39 Ensayo CBR calicata C-3, suelo+15% cal



Fuente: Propia

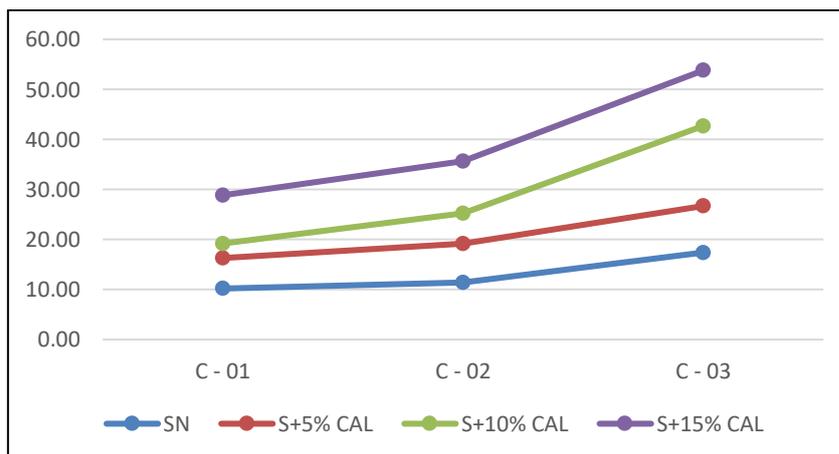
**Tabla 13** Resultados CBR del suelo natural y con adición de cal para subrasante

	Calicata	Suelo natural	Suelo + 5% cal	Suelo + 10% cal	Suelo + 15% cal
CBR al 95% de MDS	C - 01	10.20	16.30	19.20	28.85
	C - 02	11.45	19.20	25.20	35.70
	C - 03	17.40	26.70	42.70	53.80
CBR al 100% de MDS	C - 01	17.80	28.40	36.60	54.50
	C - 02	19.70	36.50	47.50	67.50
	C - 03	32.90	55.60	89.00	112.00

Fuente: Propia

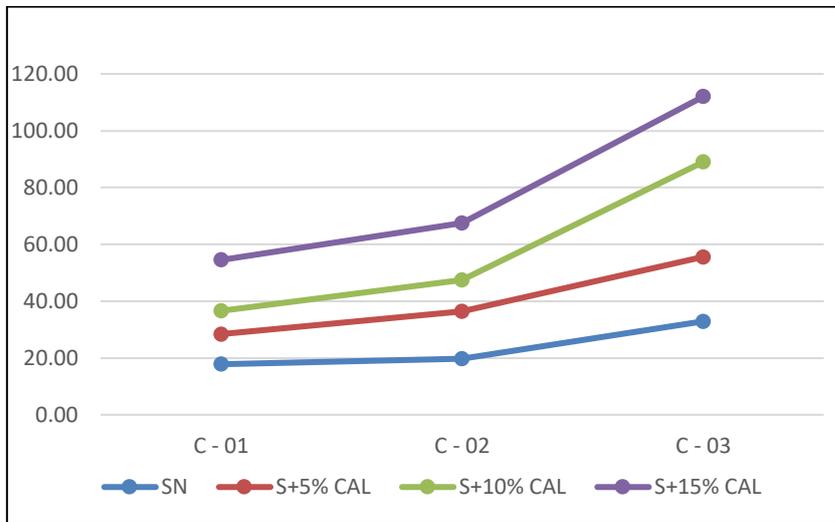
Teniendo en consideración lo establecido por el MTC (2013), que se detalla en la Figura 1, el suelo natural de la vía, en promedio, alcanza un CBR de 13% al 95% de máxima densidad seca, que la ubican en los niveles iniciales de subrasante buena, que con adición de cal al 5%, alcanza los promedios de 20.73% de CBR al 95% de MDS y 40.17% al 100% de MDS; y, con mayor adición de cal estos valores ser incrementan aún más.

**Figura 40** Comparativo de CBR al 95% de MDS



Fuente: Propia

**Figura 41** Comparativo de CBR al 100% de MDS



Fuente: Propia

Los resultados evidencian que la adición de cal al suelo natural de la subrasante mejora la calidad del suelo y que con la sola incorporación del 5% de cal se alcanza la categoría de subrasante muy buena para el pavimento a diseñar.

**Tabla 14** Resumen CBR de muestras y CBR de diseño

Calicata	CBR Subrasante
Suelo natural	7.20
Suelo + 5% cal	10.70

Fuente: Propia

El suelo natural, al 100% de su máxima densidad seca, presenta un CBR de 7.2%, como indicador técnico que puede ser empleado para la subrasante, ubicándose en la categoría de material de regular resistencia; asimismo el suelo natural con adición de 5% de cal hidratada, al 100% de su máxima densidad seca, presenta un CBR de 10.7%, por lo que sí puede ser empleado para la subrasante, al ubicarse en la categoría que lo clasifica como material de buena resistencia.

Para comparar el comportamiento estadístico de las propiedades del suelo natural con las del suelo modificado con adición de 5% de cal hidratada, se ha realizado la prueba estadística de signos, cuyos resultados se consignan a continuación:

**Tabla 15 Frecuencias observadas**

	N
Diferencias negativas <sup>a</sup>	0
Diferencias positivas <sup>b</sup>	6
Empates <sup>c</sup>	0
Total	6

a. Con\_adición < Sin\_adición

b. Con\_adición > Sin\_adición

c. Con\_adición = Sin\_adición

Fuente: Propia

Se evidencia que las diferencias entre los valores de las propiedades de los suelos, son consideradas como diferencias positivas a favor del suelo con adición de cal, sin ninguna diferencia negativa.

**Tabla 16 Estadísticos de prueba**

	Con_adición - Sin_adición
Significación exacta (bilateral)	,031 <sup>b</sup>

a. Prueba de los signos

b. Distribución binomial utilizada.

Fuente: Propia

Al evaluar el nivel de significación de la prueba estadística de signos, se evidencia que el valor de 0.031 es menor que el estadístico de referencia 0.05, por lo que se puede afirmar que las diferencias encontradas son significativas.

### 3.4 Diseño de pavimento rígido.

**Tabla 17** Datos para diseño de pavimento rígido con subrasante natural

Cargas de tráfico vehicular impuestos al pavimento	ESAL(W18)	1.10E+06
CBR de la subrasante (%)	CBR	7.2 %
Resistencia del concreto (kg/cm <sup>2</sup> )	(F'c)	280
Módulo elástico del concreto (PSI) $E = 57000 \times (f_c)^{0.5}$ ; (fc en PSI)	Ec	3597112.797
Resistencia media del concreto a flexo tracción a 28 días (kg/cm <sup>2</sup> ) $M_R = a f'c$	Mr	40
Módulo de reacción de la subrasante (Mpa/m)	Ko	48.00
CBR mínimo de la subbase (%) <b>VERDADERO</b>	CBR(subB.)	40.0 %
CBR mínimo de la subbase - definido (%)	CBR DEF.	50.0 %
Módulo de reacción de la subbase granular (Mpa/m)	K1(subB.)	140.00
Espesor de la subbase granular (cm) recomendado por la MTC	h=	15.00
Coefficiente de reacción combinado (Mpa) $K_c = 1 + \frac{h^2}{38} \times \frac{K_1^2}{K_0^3} \times K_0^{0.5}$	Kc	55.11
Tipo de tráfico	Tipo:	TP5
Índice de serviciabilidad Inicial según rango de tráfico	Pi	4.3
Índice de serviciabilidad final según rango de tráfico	Pt	2.5
Diferencial de serviciabilidad según rango de tráfico	Δ PSI	1.8
Desviación estándar combinado	So	0.35
Nivel de confiabilidad	conf.	85.0 %
Coefficiente estadístico de desviación estándar normal	ZR	-1.036
Condiciones de drenaje	cd	1.0
Coefficiente de transmisión de carga en las juntas	J	3.8
Concreto hidráulico sin pasadores		

Fuente: Propia

$$\log_{10}(W_{18}) = Z_R S_0 + 7.35 \log_{10} (D + 25.4) - 10.39 + \frac{\log_{10} \left( \frac{\Delta PSI}{4.5 - 1.5} \right)}{1 + \frac{1.25 \times 10^{19}}{(D + 25.4)^{8.46}}} + (4.22 - 0.32 P_i) \times \log_{10} \left( \frac{M_{C_c} (0.09 D^{0.75} - 1.132)}{1.51 \times \left( 0.09 D^{0.75} - \frac{7.38}{(E_c/k)^{0.25}} \right)} \right)$$

Espesor de pavimento de concreto en milímetros (mm)

Calcular D

D=

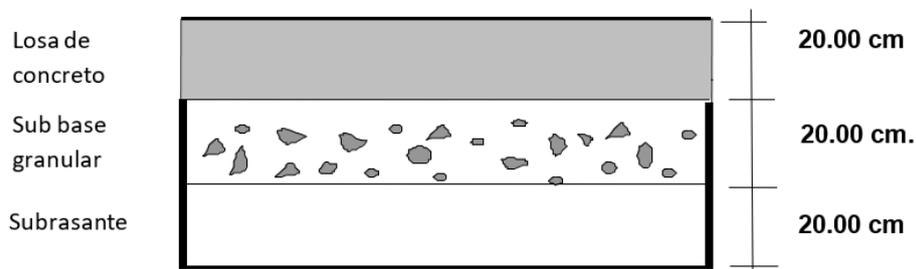
203.48

DISEÑO TEÓRICO	
D-0	D-1
20 cm	20 cm
Losa de concreto	Subbase Granular

DISEÑO PROPUESTO	
D-0	D-1
20 cm	20 cm
Losa de concreto	Subbase Granular

Para el diseño del pavimento rígido con material natural, se utilizó el método AASHTO 93, para una losa de concreto ( $f'c=280 \text{ kg/cm}^2$ ) de  $e=0.20 \text{ m}$  y una capa de subbase granular de  $e=0.20 \text{ m}$ , que se colocará en 1 capa de  $0.20 \text{ m}$  de espesor y su compactación será hasta alcanzar como mínimo el 100% de su máxima densidad seca. Por último, para la construcción de la subrasante se tendrá que tener las siguientes consideraciones: una capa de  $e=0.20 \text{ m}$ , el mismo que se colocará en 1 capa de  $0.20 \text{ m}$  de espesor y su compactación será hasta alcanzar como mínimo el 95% de su máxima densidad seca, de acuerdo con el ensayo de Proctor Modificado (ASTM D-1557). En consecuencia, las características físicas y mecánicas del suelo mejoraran aportando mayor capacidad soporte al terreno de fundación.

**Figura 42** Estructura del pavimento con subrasante de material natural



Fuente: Propia

**Tabla 18** Datos para diseño de pavimento rígido con subrasante de suelo +5% cal

Cargas de tráfico vehicular impuestos al pavimento	ESAL(W18)	1.10E+06
CBR de la subrasante (%)	CBR	10.7 %
Resistencia del concreto (kg/cm2)	(F'c)	280
Módulo elástico del concreto (PSI) $E = 57000 \times (f'c)^{0.5}$ ; (fc en PSI)	Ec	3597112.797
Resistencia media del concreto a flexo tracción a los 28 días (kg/cm2) $M_r = a f'c$	Mr	40
Módulo de reacción de la subrasante (Mpa/m)	Ko	57.00
CBR mínimo de la subbase (%) <b>VERDADERO</b>	CBR(subB.)	40.0 %
CBR mínimo de la subbase - definido (%)	CBR DEF.	50.0 %
Módulo de reacción de la subbase granular (Mpa/m)	K1(subB.)	140.00
Espesor de la subbase granular (cm) recomendado por la MTC	h=	15.00
Coefficiente de reacción combinado (Mpa) $K_c = 1 + \frac{h^2}{38} \times \frac{K_1^2}{K_0^3} \times K_0^{0.5}$	Kc	64.58
Tipo de tráfico	Tipo:	TP5
Índice de serviciabilidad Inicial según rango de tráfico	Pi	4.3
Índice de serviciabilidad final según rango de tráfico	Pt	2.5
Diferencial de serviciabilidad según rango de tráfico	$\Delta$ PSI	1.8
Desviación estándar combinado	So	0.35
Nivel de confiabilidad	conf.	85.0 %
Coefficiente estadístico de desviación estándar normal	ZR	-1.036
Condiciones de drenaje	cd	1.0
Coefficiente de transmisión de carga en las juntas	J	3.8
Concreto hidráulico sin pasadores		

Fuente: Propia

$$\log_{10}(W_{18}) = Z_R S_0 + 7.35 \log_{10} (D + 25.4) - 10.39 + \frac{\log_{10} \left( \frac{\Delta PSI}{4.5 - 1.5} \right)}{1 + \frac{1.25 \times 10^{19}}{(D + 25.4)^{8.46}}} + (4.22 - 0.32 P_t) \times \log_{10} \left( \frac{M_r C_{tr} (0.09 D^{0.75} - 1.132)}{1.51 \times \left( 0.09 D^{0.75} - \frac{7.38}{(E_c/k)^{0.25}} \right)} \right)$$

Espesor de pavimento de concreto en milímetros (mm)

Calcular D

D=

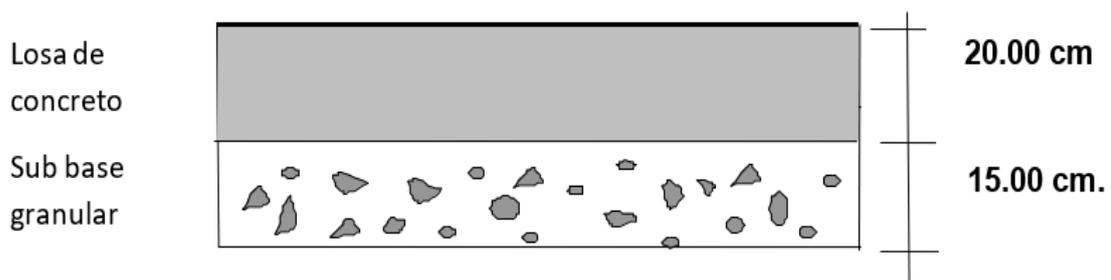
200.97

DISEÑO TEÓRICO	
D-0	D-1
20 cm	15 cm
Losa de concreto	Subbase Granular

DISEÑO PROPUESTO	
D-0	D-1
20 cm	15 cm
Losa de concreto	Subbase Granular

Utilizando el método AASHTO 93, para una subrasante estabilizada con adición de cal, se asumió la recomendación del uso de la cantera Tres Tomas, como material para la estructura del pavimento rígido, compuesto por una losa de concreto ( $f'c=280 \text{ kg/cm}^2$ ) de  $e=0.20 \text{ m}$  y una capa de subbase granular de  $e=0.15 \text{ m}$ , el mismo que se colocará en 1 capa de  $0.15 \text{ m}$  de espesor y su compactación será hasta alcanzar como mínimo el 100% de su máxima densidad seca, de acuerdo con el ensayo de Proctor Modificado (ASTM D-1557). En consecuencia, las características físicas y mecánicas del suelo mejoraran aportando mayor capacidad soporte al terreno de fundación.

**Figura 43** Estructura del pavimento con subrasante de suelo+5% cal



Fuente: Propia

A partir de estos resultados, la estructura del pavimento rígido con subrasante de material natural estará compuesto por una losa de concreto de  $f'c=280 \text{ kg/cm}^2$ , en un espesor de  $0.20 \text{ m}$ ; una subbase granular de espesor igual a  $0.20 \text{ m}$ , de material selecto, compactado

al 100% de su máxima densidad seca; y, una subrasante de espesor de 0.20 m, de material propio, compactado en una capa de espesor de 0.20 m. al 95% de su máxima densidad seca

La estructura del pavimento rígido con subrasante de material natural más la incorporación de 5% de cal hidratada, estará compuesta por una losa de concreto de  $f'c=280$  kg/cm<sup>2</sup>, espesor de 0.20 m y una subbase granular de espesor igual a 0.15 m, compactado al 100% de su máxima densidad seca.

**Tabla 19** *Comparativo de pavimento rígido*

Material	Diseño del concreto (f'c)	Espesor (m)	Base regular (m)	Subrasante (m)
Material natural	280 Kg/cm <sup>2</sup>	0.20	0.20	0.20
Material natural + 5% cal hidratada	280 Kg/cm <sup>2</sup>	0.20	0.15	x

*Fuente:* Propia

Con los resultados de la investigación se logra reducir el espesor de la sub base de un pavimento rígido en cinco centímetros, para el caso de los suelos de la zona de estudio, lo cual puede ser de utilizad para todos los casos donde las condiciones del suelo sean de baja resistencia, otorgando mayor estabilidad al suelo. Con ello se demuestra que el uso de la cal en subrasantes se traduce en una alternativa estructural y económica para los proyectos de pavimentación en el país.

## CAPÍTULO IV: DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

### 4.1 Discusión

En el desarrollo de la investigación se ha planteado como primer objetivo la identificación de la categorización de las vías en estudio, tomado en base al volumen de tránsito que predomina en la zona de influencia, es así que luego del estudio de estudio de tráfico en la calle 2 en un distrito del norte del Peru, consideradas como área de impacto principal, además considerando como área de impacto secundaria a las vías transversales y adyacentes al área principal, llegando a la consideración que las vías de estudio. son mayormente locales y se consideran asimismo como de poca afluencia vehicular, de tránsito uniforme en el transcurso del día; luego del análisis respectivo se establece que las vías presentan se ubican en el nivel de servicio "A" de comportamiento, que representa un moderado flujo vehicular, como indicador que pueden soportar flujos de tránsito con libertad de maniobra ante la carga vehicular, esta información resultante sirve de base para el posterior diseño del pavimento, aunque las investigaciones citadas como antecedentes no presentan estos estudios, como el caso de los estudio de Moale y Rivera (2022) y Angulo (2014), que parten de datos referenciales de tráfico para su diseño del pavimento, situación que no es lo adecuado teniendo en cuenta que el estudio de la cuantificación y clasificación del volumen de vehículos que transitan por la vía, otorga información importante y necesaria para el adecuado diseño del pavimento.

Respecto del segundo objetivo específico relacionado con las propiedades geomecánicas del suelo, luego de efectuados los ensayos de laboratorio se encuentra que el suelo de subrasante tiene una clasificación de suelos de: arena limosa con grava (SM), arena pobremente graduada con limo y grava (SP-SM) y grava arcillosa con arena (GC).

Asimismo, clasificados en el sistema AASHTO como: A-7-6 (14), A-7- 6 (15), A-7-6 (13), A-1-b (0), observándose la predominancia de tres grupos de suelos con índices de grupo superior a 11, como indicador de suelos arcillosos, lo cual hace necesario la adición de cal para la mejora de la calidad del suelo para su uso como subrasante, en similitud con la investigación de Ulloa (2015) que identifica la clasificación predominante del suelo de su estudio como de tipo A-7-6, optando por la aplicación de cal para mejorar la calidad de la subrasante. Igualmente, las investigaciones de Watson y Manrique Ulloa (2015) identifican previamente las bajas condiciones de resistencia de los suelos donde realizaron sus diseños, para experimentar la alternativa de adición de cal, con ello, al igual que el presente estudio, se obtiene conclusiones importantes para dotar de mayor estabilidad a las subrasantes y así contar pavimentos que cumplan con la vida útil para las que son diseñados.

En cuanto al tercer objetivo específico sobre la identificación de los porcentajes óptimos de adición de cal a la subrasante natural, con los estudios de laboratorio efectuados se obtiene que el suelo natural de la vía, alcanza un CBR promedio en las muestras, de 13% al 95% de máxima densidad seca, con la adición de cal al 5%, alcanza los promedios de 20.73% de CBR al 95% de MDS y 40.17% al 100% de MDS, superando la calificación de muy buena para uso como subrasante; y, cuando se aplica mayor adición de cal estos valores de CBR continúan en incremento. Con estos resultados se puede afirmar que la adición de 5% de cal al suelo natural de la subrasante mejora su calidad alcanzando la categoría de subrasante muy buena para el pavimento a diseñar

Este resultado tiene coincidencias con los estudios de Watson y Manrique (2021), para quienes la subrasante con adición de 3% y 6%, de cal ha podido incrementar el módulo de resiliencia como indicador de incremento de la capacidad del suelo de subrasante para su

desempeño en el pavimento; en igual sentido la investigación de Hernández et al (2016) donde experimenta la adición de 5% de cal al suelo natural logrando el incremento de la capacidad de soporte (CBR) del suelo para ubicarlo en condiciones de cumplir los requisitos mínimos para su uso como subrasante; otra condición lograda con la incorporación de cal al suelo natural la experimentó Angulo (2014), con la disminución de los índices de plasticidad, el incremento del CBR y la generación de una capa protectora contra el agua por efecto de la capilaridad. Un resultado aparentemente distinto es el que tienen Moale y Rivera (2022) que concluyen como óptimo porcentaje la adición de cal al suelo natural del 15%, sin embargo el referido estudio parte de un CBR del suelo natural de 3.3%, con caracterización de arcilla de baja plasticidad, suelo arcilloso plástico con índice de grupo 8; A-6(8), que lo clasificaba como un suelo de regular a malo, por lo que se experimentó adición de 9%, 15% y 21%, donde el 15% logró incrementar el valor del CBR del suelo a 5.9%, una situación diferente a la presente investigación, que parte de un suelo de fundación distinto.

En relación al cuarto objetivo específico sobre el diseño de pavimento rígido, a partir de todos los estudios realizados se logró diseñar la estructura del pavimento con subrasante de material natural más la incorporación de 5% de cal hidratada, compuesta por una losa de concreto de  $f'c=280$  kg/cm<sup>2</sup>, espesor de 0.20 m y una subbase granular de espesor igual a 0.15 m, compactado al 100% de su máxima densidad seca, con lo cual se observa que al tener mejores condiciones de calidad de la subrasante se ha podido reducir el espesor de la sub base granular de 20 cm (con el suelo sin adición de cal) a 15 cm. Similares resultados se obtienen en los distintos estudios citados como antecedentes; para los casos de pavimentos rígidos en la mayoría de los casos la reducción del espesor de la subrasante fluctúa entre 20 y 25% (en el caso del presente estudio es 25%); sin embargo en el caso de la investigación

de Moale y Rivera (2022), la reducción del espesor alcanza solo 15.4% a pesar de haber adicionado el 15% de cal al suelo natural; esta situación se explica porque en su estudio parten de una clasificación de suelo de tipo arcilloso-plástico de muy baja resistencia.

A partir de los resultados obtenidos en la comprobación de los objetivos específicos, se ha podido considerar que, según lo propuesto en el objetivo general, el efecto de la adición de cal mejora las condiciones de calidad en la subrasante natural en el diseño de pavimentos rígidos en un distrito del norte del Peru.

## **4.2 Conclusiones**

Las vías de estudio, calle 2 en un distrito del norte del Peru, son consideradas vías mayormente locales, de tránsito uniforme durante el día, en el nivel de servicio “A” que representa un moderado flujo vehicular, pudiendo soportar flujos de tránsito con libertad de maniobra ante la carga vehicular, en coherencia con la hipótesis específica 1.

Las propiedades geomecánicas del suelo para subrasante lo clasifican como suelos de arena limosa con grava (SM), arena pobremente graduada con limo y grava (SP-SM) y grava arcillosa con arena (GC) y clasificados según el sistema AASHTO como: A-7-6 (14), A-7-6 (15), A-7-6 (13), A-1-b (0), predominando los índices de grupo como indicadores de suelos arcillosos, conforme lo formulado en la hipótesis específica 2.

En la identificación de los porcentajes óptimos de adición de cal a la subrasante natural, el suelo natural de la vía, tiene un CBR promedio de 13% al 95% de MDS y con la adición de cal al 5%, alcanza los promedios de 20.73% de CBR al 95% de MDS y 40.17% al 100% de MDS, superando la calificación de muy buena para uso como subrasante; con cuyos resultados se puede afirmar que la adición de 5% a más de cal al suelo natural de la

subrasante mejora su calidad para su uso como subrasante, de acuerdo a la formulación de la hipótesis específica 3.

El diseño de pavimento rígido con subrasante natural con incorporación de 5% de cal, tiene una estructura de una losa de concreto de  $f'c=280$  kg/cm<sup>2</sup>, de espesor de 0.20 m y una subbase granular de espesor igual a 0.15 m, compactado al 100% de MDS, reduciendo el espesor de la sub base granular de 20 cm (con el suelo sin adición de cal) a 15 cm, conforme a lo propuesto en la hipótesis específica 4.

A partir de los resultados específicos, se concluye que con la aplicación de cal se mejora las propiedades de la subrasante, lo cual conduce a la reducción del espesor en el diseño de pavimentos rígidos en un distrito del norte del Peru; lo cual no solo constituye un beneficio estructural para los pavimentos rígidos, sino también como un beneficio económico al reducir el espesor de la base regular, con la consecuente reducción de materiales y costo de mano de obra, con lo cual se cumple con la formulación de la hipótesis general de la investigación.

## REFERENCIAS

- Angulo, R. (2014). *Estabilización de subrasantes con cal*. (Tesis de pre grado, Universidad de Piura). Repositorio UDEP  
[https://pirhua.udep.edu.pe/bitstream/handle/11042/1340/ICI\\_104.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://pirhua.udep.edu.pe/bitstream/handle/11042/1340/ICI_104.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Becerra, M. (2012). *Tópicos de pavimientos de concreto. Diseño, Construcción y Supervisión*. Lima, Libre Flujo.
- Gallardo, E. (2017). *Metodología de la Investigación: manual autoformativo interactivo*. Huancayo: Universidad Continental,
- Hernández, L., Mejía, D. y Zelaya, C. (2016). *Propuesta de estabilización de suelos arcillosos para su aplicación en pavimentos rígidos* (Tesis de pregrado, Universidad de El Salvador). Repositorio UES  
<https://ri.ues.edu.sv/id/eprint/14342/1/50108285.pdf>
- Instituto Nacional de Defensa Civil. (2003). *Mapa de peligros de San José*. Indeci  
[http://bvpad.indeci.gob.pe/doc/estudios\\_CS/Region\\_lambayeque/lambayeque/sanjosese\\_mp.pdf](http://bvpad.indeci.gob.pe/doc/estudios_CS/Region_lambayeque/lambayeque/sanjosese_mp.pdf)
- Jover, F., Pastor, M., Martínez, I., y Vilaplana, E. (2016). El uso de la cal en la construcción durante la Prehistoria reciente: nuevas aportaciones para el levante de la península Ibérica. *Arqueología de la Arquitectura*, (13), e039, 1-18.  
<https://doi.org/10.3989/arq.arqt.2016.005>
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2016). *Manual de ensayo de materiales*. MTC. [http://transparencia.mtc.gob.pe/idm\\_docs/normas\\_legales/1\\_0\\_3729.pdf](http://transparencia.mtc.gob.pe/idm_docs/normas_legales/1_0_3729.pdf)

Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2014). *Manual de carreteras suelos, geología, geotecnia y pavimentos*. MTC.

[https://portal.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas\\_carreteras/MTC%20NORMAS/ARCH\\_PDF/MAN\\_7%20SGGP-2014.pdf](https://portal.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas_carreteras/MTC%20NORMAS/ARCH_PDF/MAN_7%20SGGP-2014.pdf)

Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2014). *Manual de carreteras. Especificaciones técnicas generales para construcción*. MTC.

[https://portal.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas\\_carreteras/documentos/manuales/MANUALES%20DE%20CARRETERAS%202019/MC-01-](https://portal.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas_carreteras/documentos/manuales/MANUALES%20DE%20CARRETERAS%202019/MC-01-)

[13%20Especificaciones%20Técnicas%20Generales%20para%20Construcci%C3%B3n%20-%20EG-2013%20-%20\(Versi%C3%B3n%20Revisada%20-%20JULIO%202013\).pdf](https://portal.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas_carreteras/documentos/manuales/MANUALES%20DE%20CARRETERAS%202019/MC-01-13%20Especificaciones%20Técnicas%20Generales%20para%20Construcci%C3%B3n%20-%20EG-2013%20-%20(Versi%C3%B3n%20Revisada%20-%20JULIO%202013).pdf)

Moale, A. y Rivera, E. (2022). *Estabilización química de suelos arcillosos con cal para su uso como subrasante en vías terrestres de la localidad de Villa Rica*. (Tesis de

pregrado, Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas). Repositorio UPC.  
[https://repositorioacademico.upc.edu.pe/bitstream/handle/10757/648846/MoaleQ\\_](https://repositorioacademico.upc.edu.pe/bitstream/handle/10757/648846/MoaleQ_)

[A.pdf?sequence=3](https://repositorioacademico.upc.edu.pe/bitstream/handle/10757/648846/MoaleQ_A.pdf?sequence=3)

Ñaupas, H., Mejía, E., Novoa, E. y Villagómez, A. (2014) *Metodología de la investigación Cuantitativa – Cualitativa y Redacción de la Tesis*. 4ta edición, Bogotá: Colombia,

Ediciones de la U.

Ruano, D. (2012). *Estabilización de suelos cohesivos por medio de arenas volcánicas y cal viva*. (Tesis de pregrado, Universidad de San Carlos de Guatemala). Repositorio

USAC. [http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08\\_3447\\_C.pdf](http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_3447_C.pdf)

Ulloa, H. (2015). *Estabilización de suelos cohesivos por medio de Cal en las Vías de la comunidad de San Isidro del Pegón, municipio Potosí- Rivas*. (Tesis de pregrado, Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua). Repositorio UNAM <https://repositorio.unan.edu.ni/6456/1/51667.pdf>

Uribe, M. (2016). *Geotecnia y pavimentos*. Asociación Mexicana de Ingeniería de Vías Terrestres. [http://www.amivtac.org/spanelWeb/file-manager/Biblioteca\\_Amivtac/Cursos%20AMIVTAC/curso-geotecnia/Curso-Geotecnia-y-Pavimentos-Qro.pdf](http://www.amivtac.org/spanelWeb/file-manager/Biblioteca_Amivtac/Cursos%20AMIVTAC/curso-geotecnia/Curso-Geotecnia-y-Pavimentos-Qro.pdf)

Watson, E. y Manrique, M. (2021). *Dimensionamiento de estructuras de pavimento en función del contenido de cal o cemento en la subrasante*. (Tesis de pregrado, Universidad Militar Nueva Granada). Repositorio UNNG <https://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/handle/10654/40361/ManriqueMedinaMarlon2021.pdf?sequence=3&isAllowed=y>

## ANEXOS

### Anexo N° 01: Estudio de tráfico

#### ESTUDIO DE TRAFICO

#### TRABAJO DE INVESTIGACION PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL:

“ADICIÓN DE CAL PARA ESTABILIZACIÓN DE SUBRASANTE EN EL DISEÑO DE PAVIMENTOS RÍGIDOS EN UN DISTRITO DEL NORTE DEL PERU”



#### ESTUDIO DE TRAFICO

Ubicacion: cuadra 2

Peru

2022

## 1. ASPECTOS GENERALES

### 1.1.- Introducción

El Ministerio de Vivienda, Construcción Y Saneamiento, tiene como actividad formular, normar, dirigir, coordinar, ejecutar, supervisar la política nacional y acciones del sector en materia de Saneamiento y evaluar permanentemente sus resultados, adoptando las correcciones y demás medidas que correspondan y permitan mejorar las condiciones de vida de la población.

En ese sentido el Ministerio de vivienda Construcción y Saneamiento a través del Programa Nacional de Saneamiento Urbano viene asignando recursos vía transferencias financieras a los Gobiernos Regionales, Locales y EPS, con la finalidad de ejecutar proyectos de inversión.

Para este fin, se ha previsto la elaboración del Expediente técnico de saldo del proyecto “ADICIÓN DE CAL PARA ESTABILIZACIÓN DE SUBRASANTE EN EL DISEÑO DE PAVIMENTOS RÍGIDOS EN UN DISTRITO DEL NORTE DEL PERU”.

Determinar el efecto de la adición de cal en la subrasante natural en el diseño de pavimentos rígidos en un distrito del norte del Peru.

El presente estudio de transito se fundamenta en la necesidad de generar todas las facilidades al tránsito vehicular y peatonal que se verá afectado por la ejecución del proyecto de “Adición de cal para estabilización de subrasante en el diseño de pavimentos rígidos en un distrito del norte del Peru”.

En cuanto al proyecto de investigación consideramos que existen múltiples variables por las cuales las obras pueden afectar la vialidad de las zonas comprendidas en el proyecto, sumado a ello las externalidades negativas de la ejecución de estas, tanto a los peatones como los usuarios del sistema de transporte, por ello se ha definido un tratamiento para solucionar las interferencias de acuerdo con los siguientes criterios.

- ✓ Emplazamiento y zona de influencia de las obras.
- ✓ Vialidad afectada por las obras.
- ✓ Intervención en el sistema de transporte
- ✓ Grado de transitoriedad de la intervención.

En cuanto al emplazamiento y zona de influencia, se consideró el área disponible para la ejecución de las obras y el tipo de intervención que se requerirá durante el período de obras, teniendo en cuenta la oferta vial en el sector, estimando alternativas viales ante intervenciones extensas o intervenciones en la circulación.

## **1.2.- Objetivos del Estudio**

### **1.2.1.- Objetivo General**

El objetivo general del presente Plan de Manejo de Tráfico es el de formular un plan de reordenamiento temporal de tránsito de vehículos motorizados alrededor del área del proyecto durante la investigación del proyecto, en el cual se determinen los desvíos de tránsito vehicular requeridos.

El plan de reordenamiento propuesto busca tener la necesaria flexibilidad para adecuarse a cambios no previstos en la etapa de planificación de las futuras obras generales y durante su ejecución.

Un objetivo complementario muy importante del presente Plan de Manejo de Tráfico es informar debidamente a la colectividad y en especial a los conductores de vehículos, mediante señales informativas, el itinerario a seguir por las vías alternas a las habituales, como consecuencia de la interrupción temporal - parcial o total - de algunas arterias de la zona de trabajo.

### **1.2.2.- Objetivos Específicos:**

El presente estudio tiene por objeto establecer una categorización de los niveles de servicio de las vías a intervenir de las zonas de ha investigar, en especial a las aledañas al proyecto “Adición de cal para estabilización de subrasante en el diseño de pavimentos rígidos en un distrito del norte del Peru”, a fin de determinar las posibilidades de su uso alterno en caso de interrupciones de tránsito en vías paralelas que puedan presentarse.

De acuerdo con dicha categorización se realiza el diseño de desvío del flujo vehicular, mediante el uso de señales informativas e indicadores de los itinerarios que deberán seguir los conductores de vehículos para continuar su viaje tratando de asegurar un mínimo de interrupciones o cogestiones en el tránsito, debido a los trabajos ya indicados.

## **1.3.- Descripción del Proyecto.**

El proyecto de “Adición de cal para estabilización de subrasante en el diseño de pavimentos rígidos en un distrito del norte del Peru”, permitirá reducir el espesor en el diseño

de los pavimentos rígidos con mejores de las propiedades físicas y mecánicas de la subrasante.

Por eso es importante realizar los estudios para sustentar las soluciones temporales del tránsito (vehicular y peatonal) como también debe diseñar un Sistema de Señalización y Desvío de Tránsito.

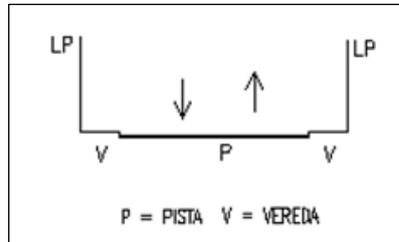
### 1.3.1.- Ubicación.

El Proyecto se desarrollará en un distrito del norte del Peru.



### 1.3.2.- Detalle – Secciones

Según la geometría existente y de acuerdo a las evaluaciones de tránsito realizadas, se menciona que la calle 2 es la única vía principal, y las restantes son las vías secundarias de bajo flujo vehicular, asimismo, mencionar que las vías que se ubican en la periferia son trochas, sin embargo, el estado superficial de estas es favorable para el tránsito, pudiendo considerarlas alternas, la sección vial típica en la mayoría de las vías es la siguiente:



*Imagen 2. Sección Típica de la calle 2.*

En las secciones viales se identificó los siguientes componentes:

- Veredas
- Estacionamientos
- Berma
- Jardines
- Tierra
- Separadores laterales
- Pista principal
- Pista secundaria
- Otros

Cabe mencionar que en la **calle 2** se realizó el estudio de tráfico.

#### **1.4.- Área de Estudio**

Cuando nos referimos al término “área de estudio” en estudios de Transito e Impacto Vial, podemos hablar de al menos dos niveles de análisis o “impacto”; es decir podemos hablar de un área de impacto principal y secundario.

El área de influencia está conformada y enmarcada por todas las posibles rutas de ingreso y salida al proyecto desde y hacia las vías principales.

##### **1.4.1.- Área de Impacto Principal**

El área de influencia está conformada y enmarcada por todas las vías donde se realizarán la investigación del proyecto, en este caso sería en la calle 2 de un distrito del norte del Peru.

#### **1.4.2.- Área de Impacto Secundario**

Para el área de impacto secundaria se ha definido a las vías adyacentes y transversales al área del proyecto, que se verán influenciadas del impacto al momento de realizar la investigación y proponer los desvíos de tránsito vehicular.

## 2.- METODOLOGIA DEL TRABAJO

En esta etapa del proyecto se ha considerado las etapas de Trabajo de Gabinete, etapa de trabajo de Campo y Etapa Final de análisis de los resultados, a través de estas tres etapas logramos llegar a los resultados obteniendo los productos finales como el Plan de Manejo de Tránsito, Planos de Desvíos, Planos de Señalización y la Cartilla de Señales, para determinar la situación actual de vías afectadas, y de la vías alternas con la finalidad de proponer las rutas de alternativas de desvíos más óptimas para el transporte público, transporte privado, y transporte de carga. Para la elaboración del Estudio de Impacto Vial se tomaron como referencia pautas y criterios técnicos propios de la Ingeniería de Transportes.

### 2.1.- Trabajo de Gabinete

El trabajo de gabinete consiste en la revisión de la información, que se utilizaran en el desarrollo del presente documento, predeterminados para el trabajo de campo.

Trabajo de Gabinete para el análisis de los datos recogidos, planteamiento y análisis de alternativas de rutas probables e Identificación de los esquemas de circulación: para ingreso/egreso de vehículos al proyecto, desde los ingresos disponibles, además el Trabajo de Gabinete es el diseño de planos, conformación del borrador del informe técnico preliminar y revisión final, acabados y presentación del Informe Final. Procesado de información en gabinete.

- ✓ Identificación del Área de Influencia del estudio.
- ✓ Identificación y sentidos de circulación de las vías sobre el área de influencia del proyecto.
- ✓ Identificación de las intersecciones de mayor influencia al proyecto.
- ✓ Análisis de la composición del Tránsito peatonal y vehicular de las vías de mayor influencia.
- ✓ Estimación de los volúmenes vehiculares.
- ✓ Simulación y análisis de los escenarios propuestos.
- ✓ Identificación de los impactos viales del proyecto.

### 2.2.- Trabajo de Campo

**Reconocimiento de Campo:** Se ha realizado una inspección in situ de las características operacionales del área de estudio; sus conclusiones determinan la necesidad de información, registrando las condiciones geométricas actuales de las vía principal y vía auxiliar las cuales se utilizarán como alternativas de desvío y como son las secciones viales y sus componentes, los números de carriles; el tránsito como el volumen vehicular por movimiento, como se

desenvuelve el tránsito en hora pico, porcentaje de vehículos pesados, flujo peatonal, como se desenvuelve transporte público, velocidades.

**Características del Lugar:** en esta sección se indican las características del lugar que afectarían al tránsito vehicular en la zona de estudio.

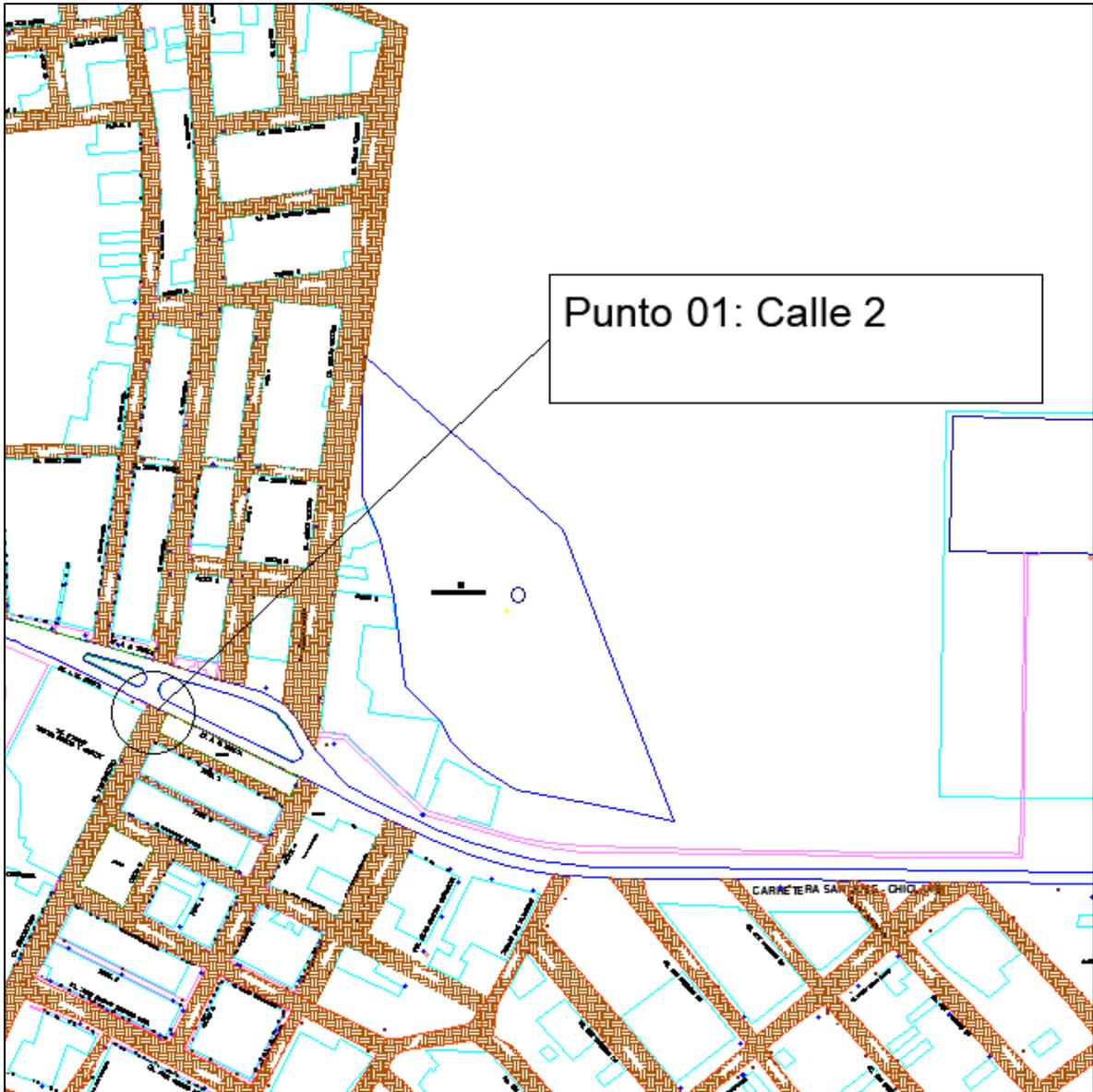
**Diagnóstico situacional –Estudio de Trafico:** Aquí se han desarrollado estudios de tráfico. Se realizó aforo vehicular en las principales vías, los conteos vehiculares se tomaron por movimientos en la intersección en intervalos de tiempos cada 15 minutos para determinar la hora punta, la estación de control se definirá anticipadamente al trabajo de campo.

### 2.3.- Análisis de la Información y obtención de resultados

Aforo de flujos vehiculares; para conocer el flujo vehicular de la zona de estudio, se consideró realizar aforos vehiculares en días típicos (lunes 22 y martes 23 de agosto del 2022) y en día atípico (sábado 27 de agosto del 2022) el registro se realizó en turno mañana (07:00 – 10:00hrs) y en turno tarde (13:00 - 16:00 hrs) debido a la mayor afluencia vehicular.

Los conteos vehiculares se llevaron a cabo en las siguientes intersecciones:

- Punto 01: calle 2.



*Imagen 3. Punto de conteo*

### 3.- ESTUDIO DE TRANSITO

#### 3.1.- Sentidos de Circulación

Los sentidos de circulación de la vía principal y secundaria son de doble sentido en su mayoría, siendo un carril por sentido, los cuales se detallarán en los flujogramas y en los planos de señalización.

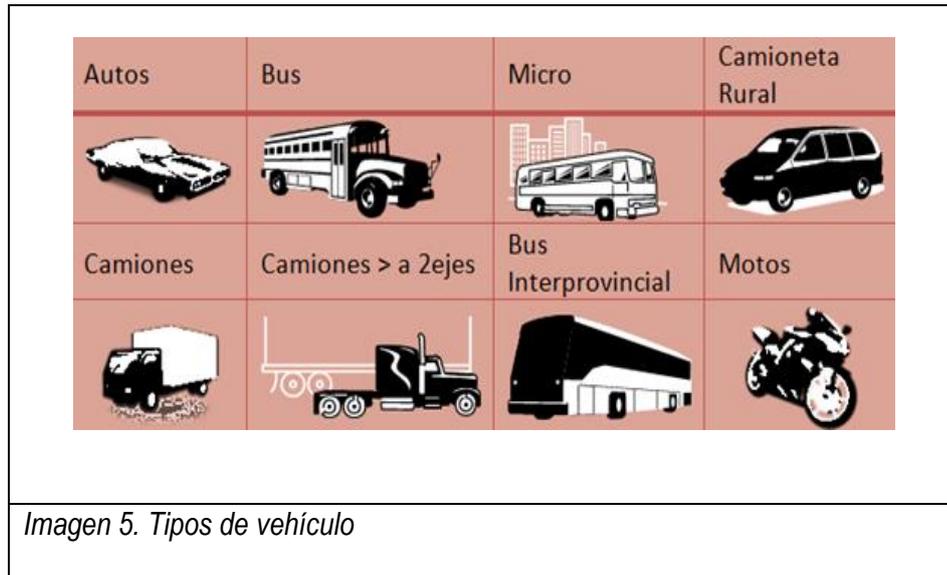
#### 3.2.- Conteo de tráfico

##### 3.2.1.- Formato de Encuestas, Aforos de flujos vehiculares al entorno del área del proyecto

Los aforos vehiculares fueron registrados en los formatos de campo, en periodos de 15 minutos, diferenciándose los distintos tipos de vehículos motorizados de la siguiente manera Con el fin de identificar y cuantificar el número de vehículos que transita sobre el perímetro del proyecto, se utilizó el siguiente formato:

FLUJO VEHICULAR DIRECCIONAL CLASIFICADO FORMATO DE CAMPO FC-02																			
INTERSECCION:																			
ENCUESTADOR:																			
PERIODO:		FECHA:																	
APROXIMACION:		GROS:																	
HORA	AUTOMOVIL (AUTOMOVIL VAN/VAN/BUCK UP/ETC)			MOTOTAXI		MOTO LINEAL		CAMIONETA RURAL (COMET)		MICROBUS		OMNIBUS		BUS INTERPROVINCIAL		CAMION LIGERO		CAMION PESADO	
	00																		
15																			
30																			

*Imagen 4. Formato de aforo Vehicular*



Por lo general el flujo vehicular está compuesto por diferentes tipos de vehículos, adoptando un comportamiento distinto en el flujo. Con la finalidad de obtener una uniformidad se utiliza la Unidad de Coche Patrón, también llamada UCP, que es la equivalencia de los modos de transporte con respecto a la unidad de medida de los automóviles o autos. Las equivalencias son las siguientes:

TIPOLOGÍA	UCP
Auto	1.00
Camioneta Rural	1.25
Micro	2.00
Bus	3.00
Camión	2.50
Moto	0.33
Camión Mayor a 2E	3.50
Bus Interprovincial	3.50

*Imagen 6. Unidad de coche patrón*

### Aforos de flujos Peatonales al entorno del área del proyecto:

Con el fin de identificar y cuantificar el número de personas que transita sobre el perímetro del proyecto, se utilizó el siguiente formato:

VIA: _____		N ↑				
PUNTO: _____						
ENCUESTADOR: _____						
HORA	HOMBRES		MUJERES		NIÑOS	
	↑	↓	↑	↓	↑	↓
DE:						
A:						
DE:						
A:						
DE:						
A:						

*Imagen 7. Aforos de flujos Peatonales*

Los aforos peatonales fueron registrados en los formatos de campo, en periodos de 15 minutos, diferenciándose tal como se muestra en la tabla:



### 3.2.2.- Cronograma de conteos

Para conocer el flujo vehicular y peatonal de la zona de estudio, se consideró realizar aforos vehiculares en días típicos

Tabla 1. Cronograma de Conteo

FECHA	INTERSECCION	HORARIO	
		MAÑANA	TARDE
Lunes 22 de agosto del 2022	Punto 01: calle 2	07:00 - 10:00	13:00 - 16:00
Martes 23 de agosto del 2022		07:00 - 10:00	13:00 - 16:00
Sábado 27 de agosto del 2022		07:00 - 10:00	13:00 - 16:00

### 3.2.3.- Identificación de puntos de aforo

Para el presente estudio se identificó 01 puntos de conteo, los cuales fueron seleccionados únicamente en las vías importantes y cuya afectación podrían ocasionar un considerable impacto. Las vías secundarias también son afectadas, sin embargo, el flujo vehicular es sumamente limitado. El punto seleccionado es el siguiente:

- Punto 01: calle 2

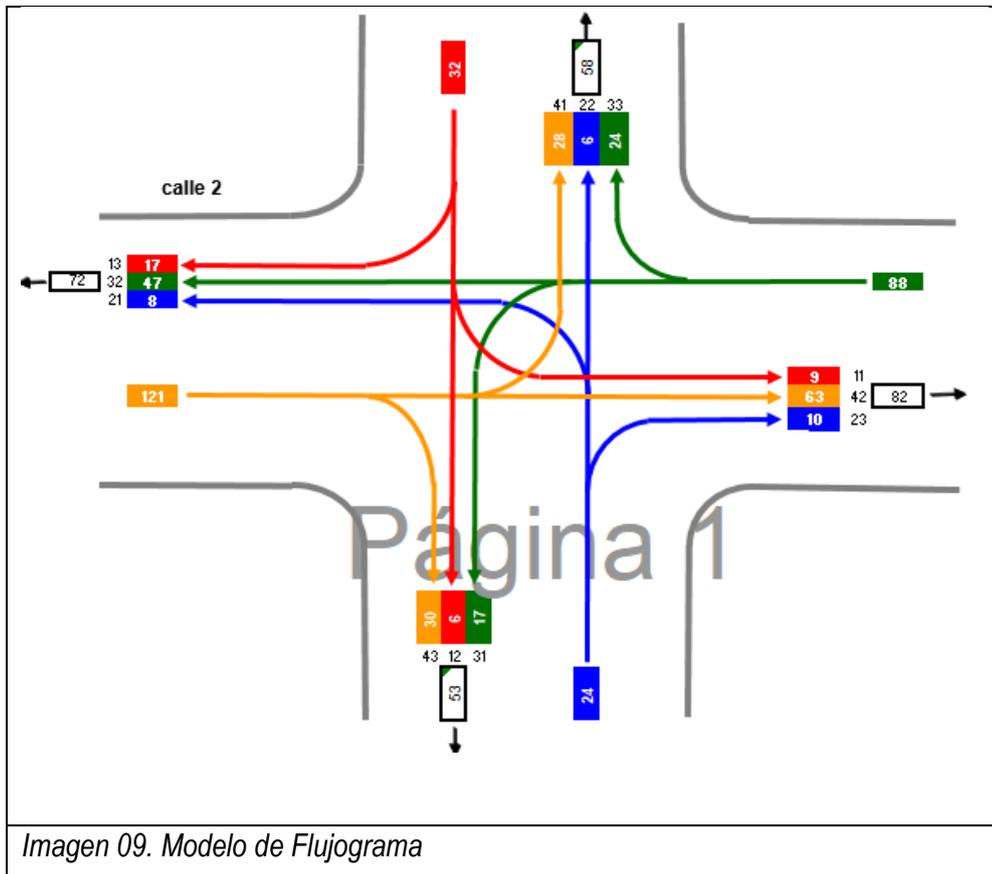
### 3.2.4.- Determination del Flujo

El Estudio de Tráfico realizado en las intersecciones registra el flujo vehicular en dirección al eje de los movimientos direccionales. Los conteos vehiculares se han tomado (07:00 – 10:00 hrs.) y de (13:00 – 16:00 hrs.) con la finalidad de determinar las horas punta, con períodos dentro de la hora máxima demanda de 15 minutos, nos indicará como están distribuidos los flujos máximos dentro de la hora. Se determinarán horas de mayor flujo vehicular (horas pico), y las horas de menor flujo vehicular (horas valle) en el área en estudio y sobre la base del análisis de impacto de tráfico vehicular se desarrollarán los controles.

La toma de datos directa de campo nos ha permitido obtener información detallada del flujo vehicular a continuación, se describe:

- ✓ Clasificación vehicular por tipo (autos, camioneta rural, ómnibus, buses, camiones de por ejes).

- ✓ Movimientos direccionales en las intersecciones, para desarrollar los diagramas de flujos vehiculares.
- ✓ Los formatos de encuestas deberán de contener en su diseño espacios para la toma de los flujos vehiculares e identificar tipos de aforos vehiculares, tipo de vehículo.



#### 4.- EVALUACIÓN DEL TRÁFICO EN EL ÁREA DEL PROYECTO

##### 4.1.- Vía de mayor importancia.

La vía de mayor importancia en el área de proyecto es la calle 2, la cual es el principal acceso del norte del Peru. No obstante, es necesario conocer las características geométricas de estas vías para determinar las necesidades para el desvío del tránsito.

##### 4.2.- Total tráfico generado

Con respecto al tráfico en la zona afectada la Interferencia a generarse, se trata vías por donde se efectuará el estudio, los cuales se verán intervenidas en modo de malla por perímetros de áreas de trabajo, los cuales estarán cerradas a los vehículos, por lo que se desviarán por vías alternas de bajo circulación vehicular, lo que se sugiere trabajar en turno día y dejar bien señalizados la zona de trabajo al terminar la jornada diaria y durante la ejecución de las obras.

##### 4.2.1.- Volumen Vehicular

A continuación, se muestran los resultados de conteos vehiculares por día de trabajo:

*Tabla 2 Volumen Vehicular Lunes 22/08/2022*

ITEM	INTERSECCION	MAÑANA		TARDE	
		HORA PUNTA	# DE VEHICULOS	HORA PUNTA	# DE VEHICULOS
1	CALLE 2	07:30 - 08:30	265	01:30 - 14:30	298

*Tabla 3 Volumen Vehicular Martes 23/08/2022*

ITEM	INTERSECCION	MAÑANA		TARDE	
		HORA PUNTA	# DE VEHICULOS	HORA PUNTA	# DE VEHICULOS
1	CALLE 2	07:30 - 08:30	219	01:30 - 14:30	228

*Tabla 4 Volumen Vehicular Sábado 27/08/2022*

ITEM	INTERSECCION	MAÑANA		TARDE	
		HORA PUNTA	# DE VEHICULOS	HORA PUNTA	# DE VEHICULOS
1	CALLE 2	07:30 - 08:30	224	01:30 - 14:30	220

##### 4.2.2.- Volumen Peatonal

A continuación, se muestran los resultados de conteos peatonales por día de trabajo:

**Tabla 5 Volumen peatonal lunes 22/08/2022**

INTERSECCION	MAÑANA		TARDE	
	HORA PUNTA	PEATONES/ 15 MIN. PUNTA (pt/15min.)	HORA PUNTA	PEATONES/ 15 MIN. PUNTA (pt/15min.)
CALLE 2	07:30 - 08:30	5	01:30 - 14:30	6

**Tabla 6 Volumen peatonal martes 23/08/2022**

INTERSECCION	MAÑANA		TARDE	
	HORA PUNTA	PEATONES/ 15 MIN. PUNTA (pt/15min.)	HORA PUNTA	PEATONES/ 15 MIN. PUNTA (pt/15min.)
CALLE 2	07:30 - 08:30	4	01:30 - 14:30	4

**Tabla 7 Volumen peatonal sábado 27/08/2022**

INTERSECCION	MAÑANA		TARDE	
	HORA PUNTA	PEATONES/ 15 MIN. PUNTA (pt/15min.)	HORA PUNTA	PEATONES/ 15 MIN. PUNTA (pt/15min.)
CALLE 2	07:30 - 08:30	6	01:30 - 14:30	7

## 5.- ANALISIS DE LA CAPACIDAD VIAL

### 5.1. Volumen Vehicular:

La determinación de los flujos críticos consistió en verificar en que horarios del día se producen la mayor demanda vehicular sobre las vías en estudio que conforman el área de influencia del proyecto.

Por lo general el flujo vehicular está compuesto por diferentes tipos de vehículos, adoptando un comportamiento distinto en el flujo. Con la finalidad de obtener una uniformidad se utiliza la Unidad de Coche Patrón, también llamada UCP, que es la equivalencia de los modos de transporte con respecto a la unidad de medida de los automóviles o autos, según la imagen 12.

**Tabla 8 Análisis de la Capacidad Vial Turno Mañana**

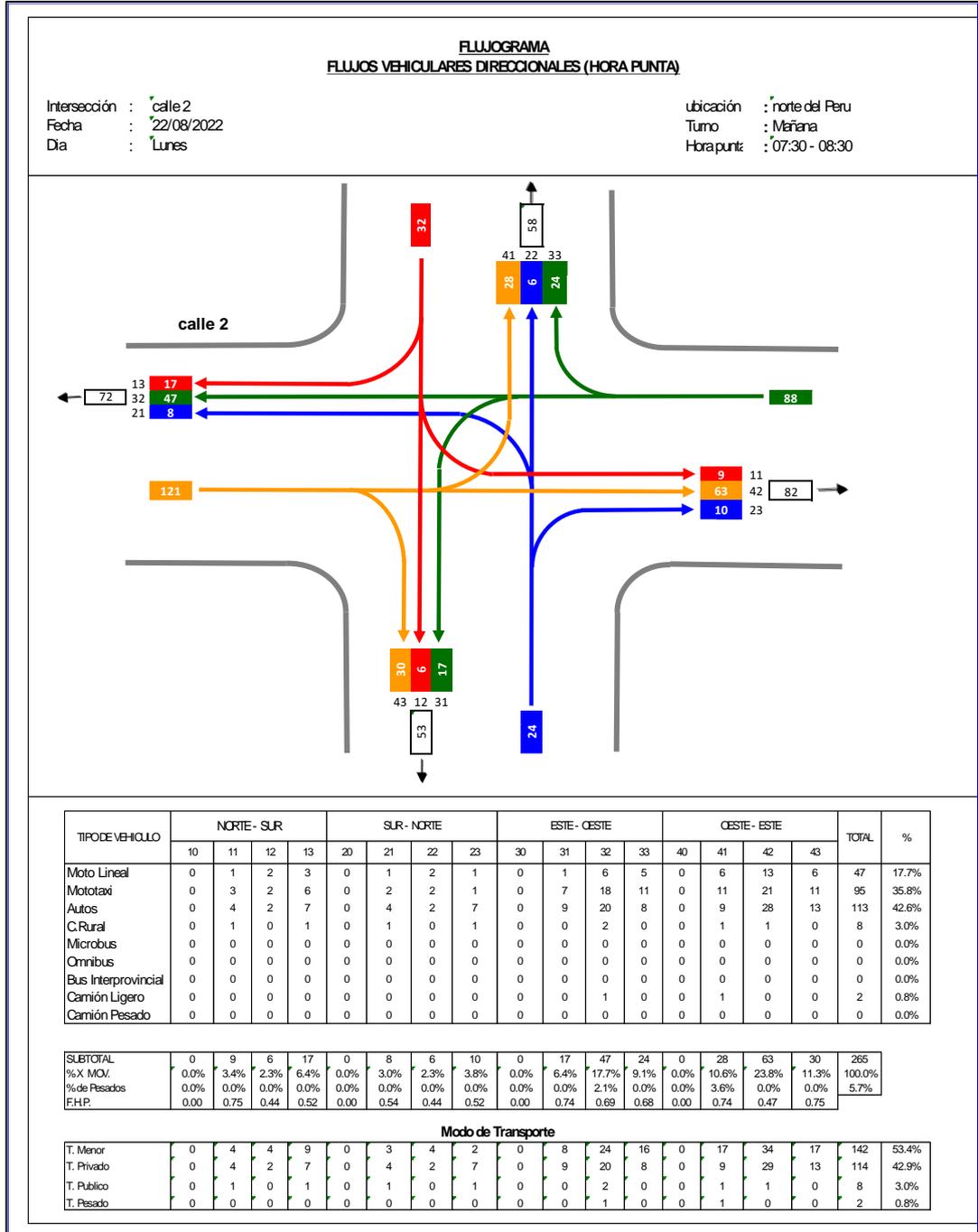
ITEM	INTERSECCION	LUNES 22/08/2022		MARTES 23/08/2022		SABADO 27/08/2022	
		HORA PUNTA	VOLUMEN VEHICULAR UCP	HORA PUNTA	VOLUMEN VEHICULAR UCP	HORA PUNTA	VOLUMEN VEHICULAR UCP
1	CALLE 2	07:30 - 08:30	215	07:30 - 08:30	200	07:30 - 08:30	202

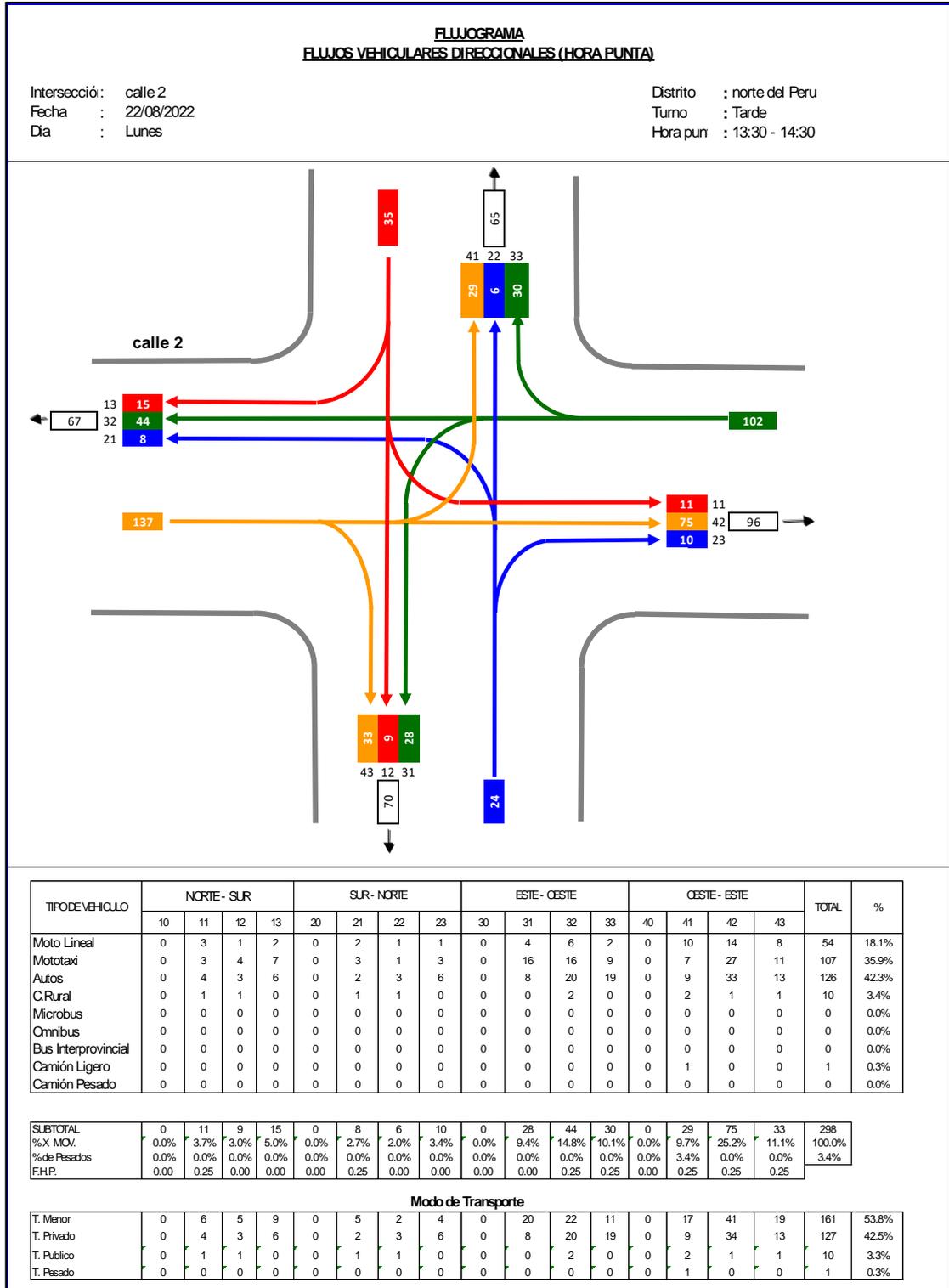
**Tabla 9 Análisis de la Capacidad Vial Turno Tarde**

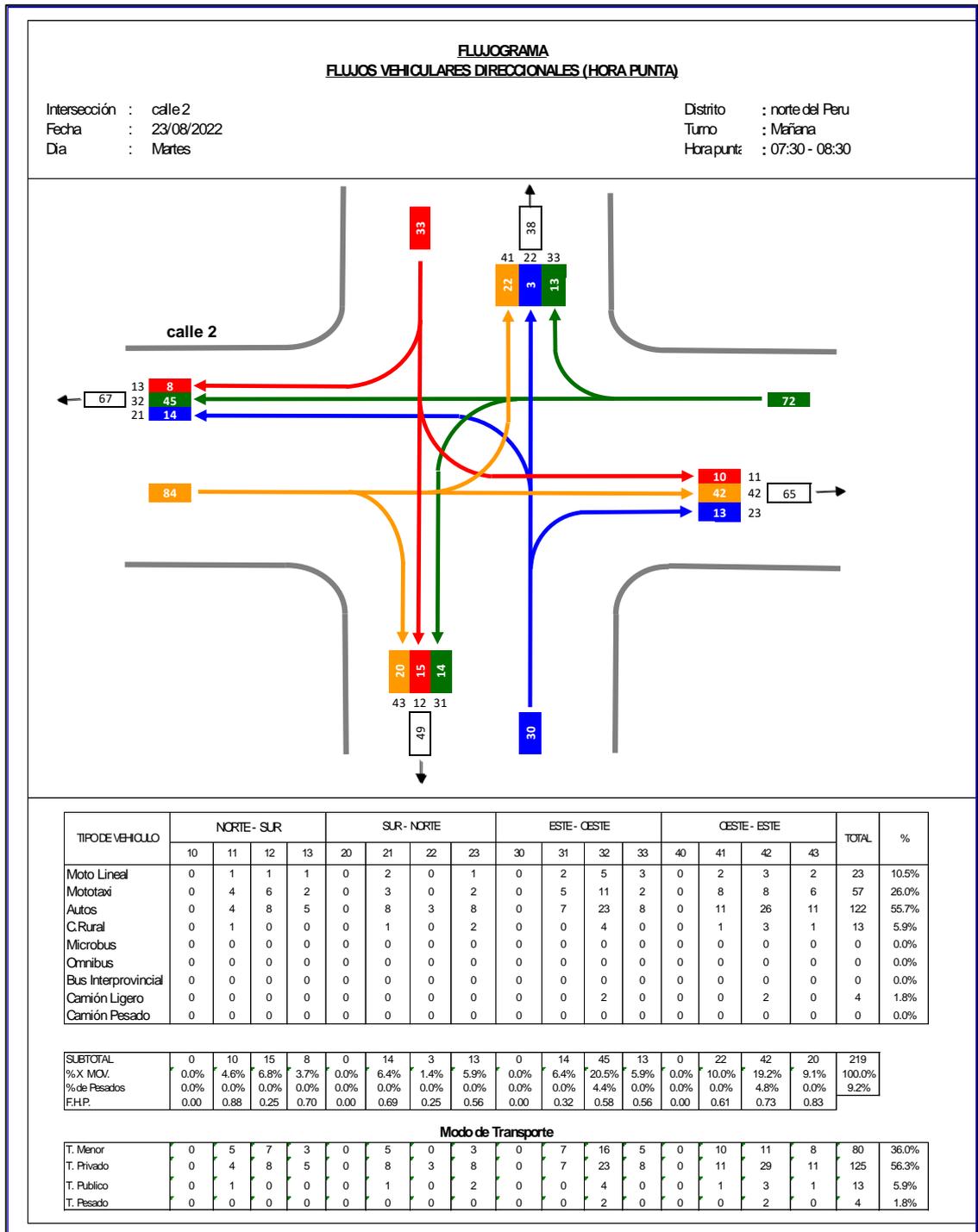
ITEM	INTERSECCION	LUNES 22/08/2022		MARTES 23/08/2022		SABADO 27/08/2022	
		HORA PUNTA	VOLUMEN VEHICULAR UCP	HORA PUNTA	VOLUMEN VEHICULAR UCP	HORA PUNTA	VOLUMEN VEHICULAR UCP
1	CALLE 2	01:30 - 14:30	239	01:30 - 14:30	213	01:30 - 14:30	198

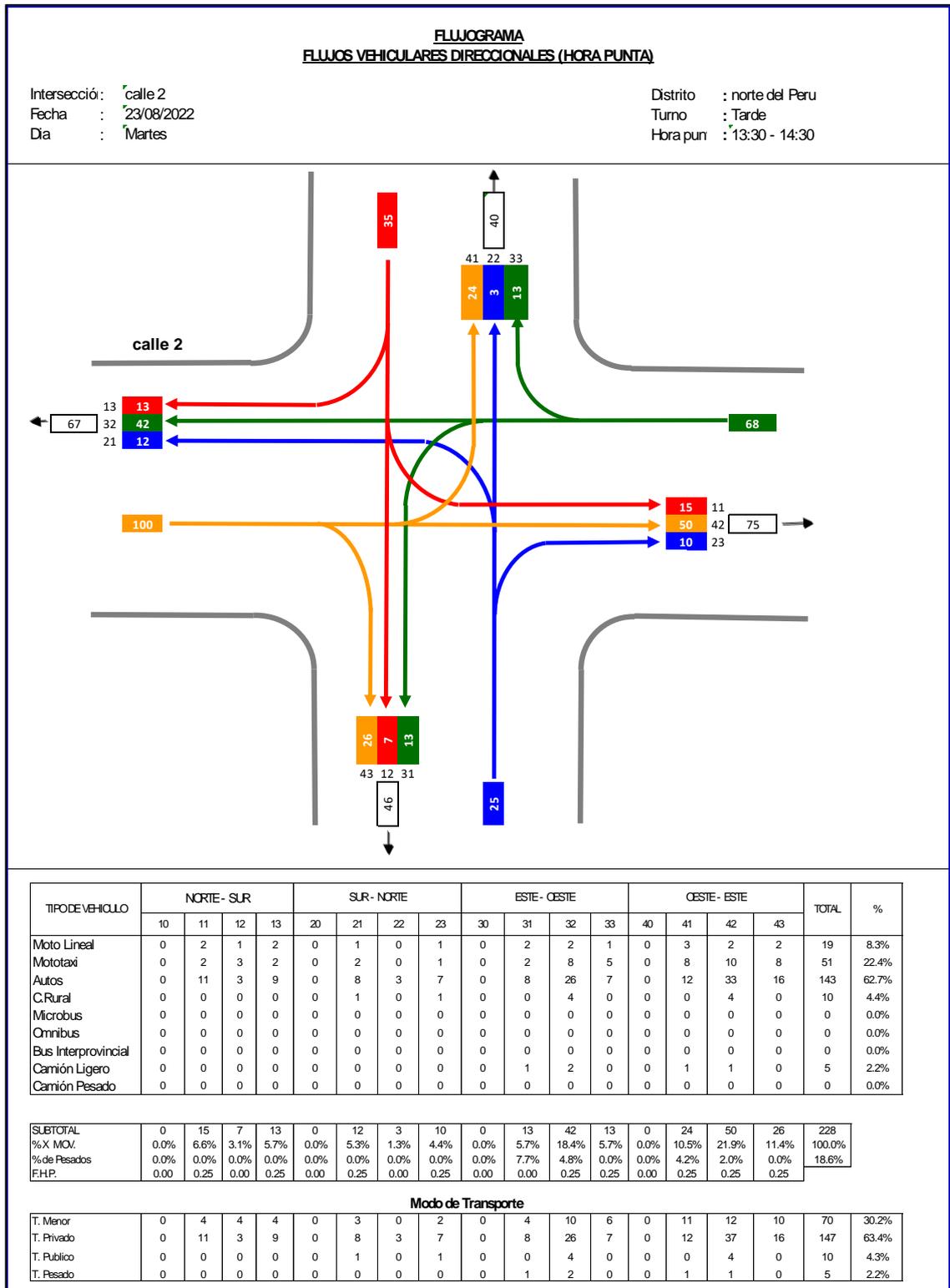
Se determinó los flujos críticos vehiculares de la vía pública en la siguiente tabla se puede apreciar los flujos críticos de la hora punta de la tarde, la cual supera en todos los casos al de turno mañana. Así mismo, de los conteos vehiculares realizados se observó que la hora punta de un día particular es mayor que la hora punta de un día atípico (día fin de semana), por lo que en el presente estudio se tomarán los datos de la hora punta del día particular a efectos de calcular el nivel de servicio de cada intersección estudiada.

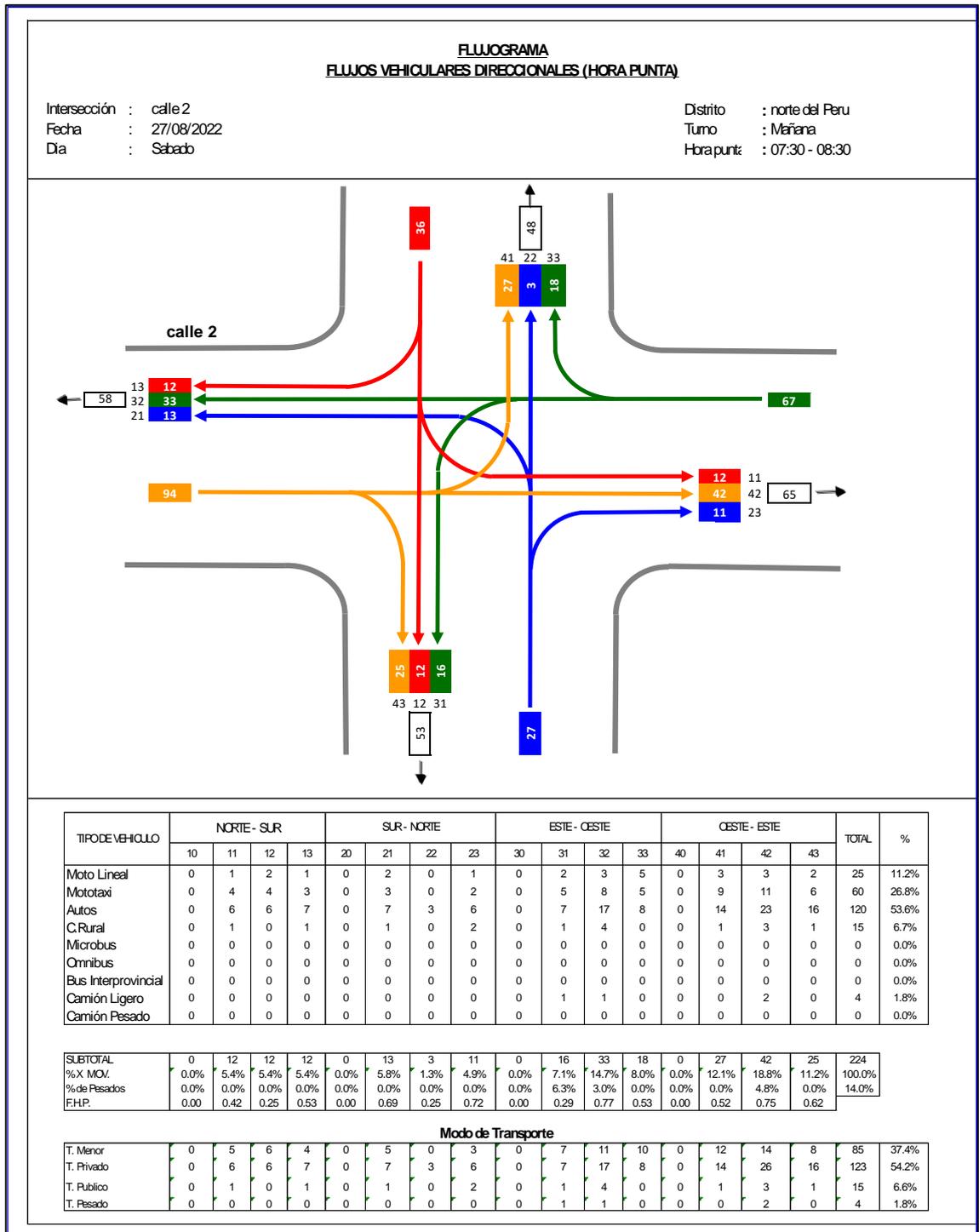
**Punto 1.- Calle 2**

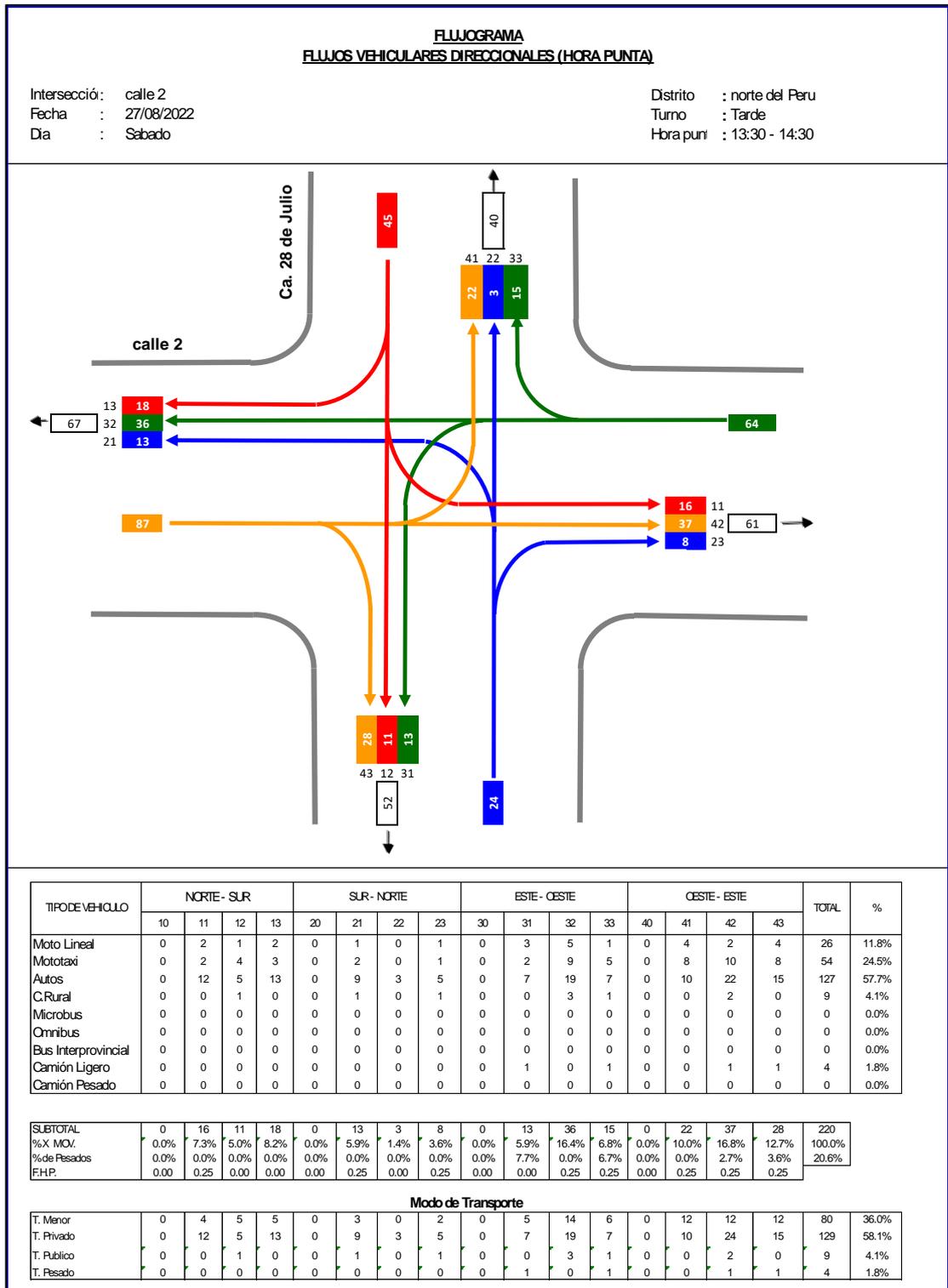












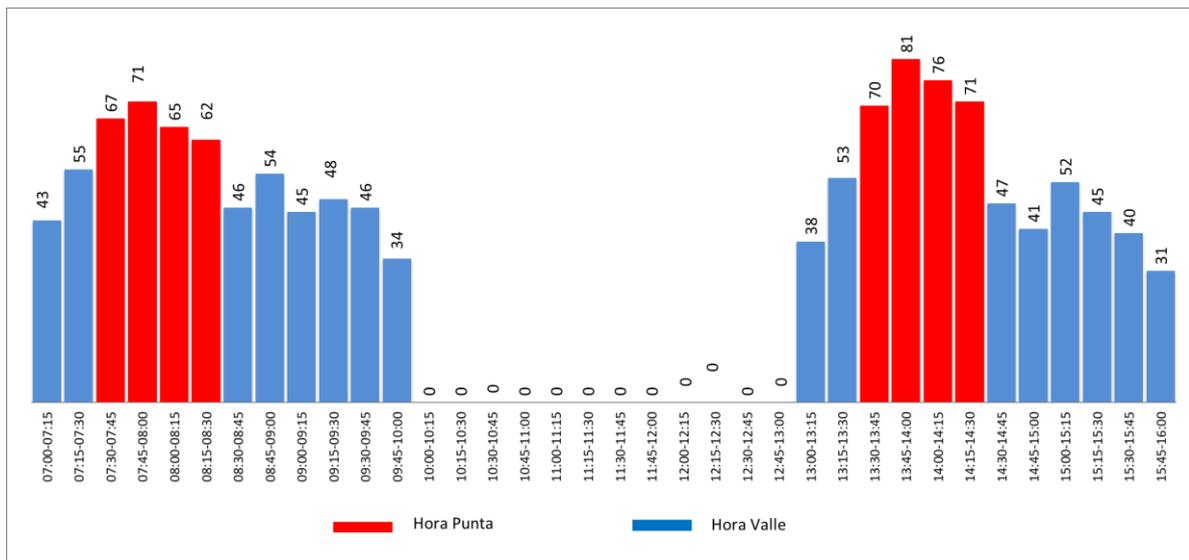
**5.2. Determinación de la hora punta:**

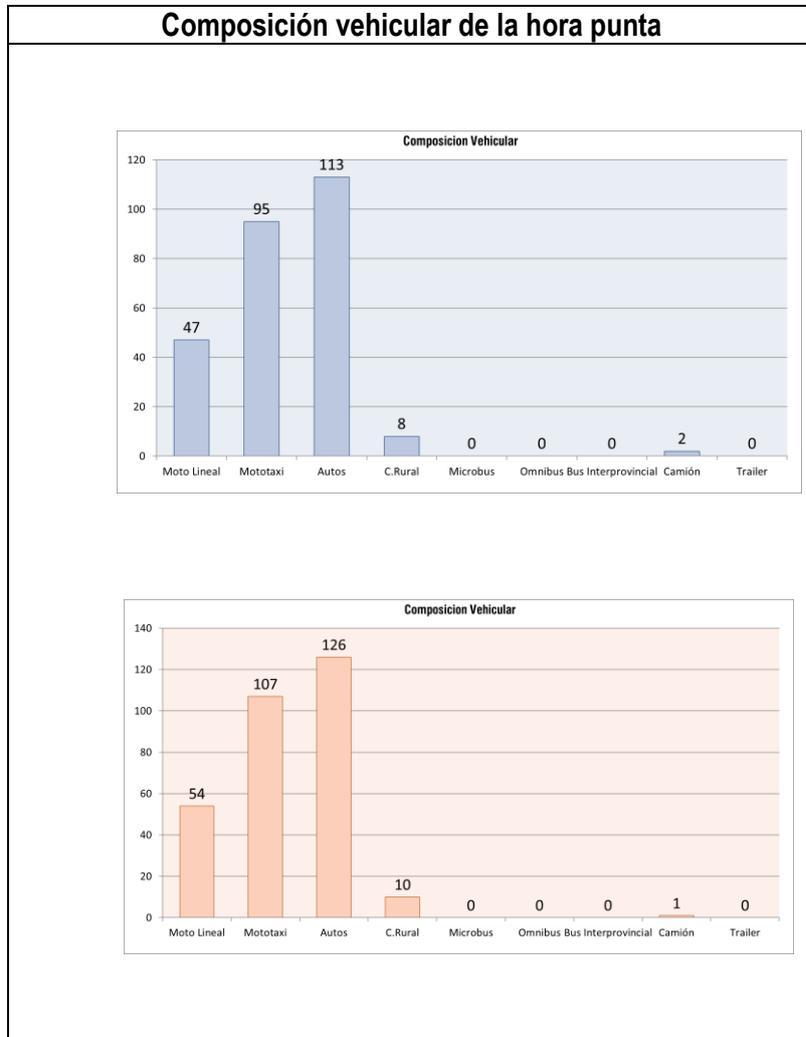
De acuerdo con los volúmenes vehiculares tomados de campo se muestran los siguientes cuadros para determinar la hora punta:

**Punto 1.- calle 2**

TIPO DE VEHICULO	calle 2	
	07:30 - 08:30	13:30 - 14:30
Moto Lineal	47	54
Mototaxi	95	107
Autos	113	126
C.Rural	8	10
Microbus	0	0
Omnibus	0	0
Bus	0	0
Interprovincial	0	0
Camión	2	1
Trailer	0	0

*Tabla. Tipo de vehículo*





Se ha realizado el cálculo de los volúmenes vehiculares, los mismos que se muestran en los flujogramas vehiculares, que están clasificados por tipo de vehículos, por movimientos y debidamente convertidos a Unidad de Conversión Patrón (UCP) a fin de facilitar su respectivo análisis de tráfico.

Para el presente análisis de capacidad vial, se ha utilizado como muestra representativa, los conteos vehiculares, e indicadores recopilados durante la hora de máxima demanda (HMD) del día **lunes 22 de agosto del 2022**

## 6.- ANALISIS DE TRAFICO Y CAPACIDAD VIAL

Para el cálculo de la capacidad y niveles de servicio, el método a utilizar es el establecido por el Manual de Capacidad de Carreteras de los Estados Unidos de Norteamérica (HCM 2000) y el Software de Simulación de Transito SYNCHRO 8.0 + Simtraffic, que son dos softwares en uno solo, conocidos en el mercado simplemente como Synchro. Está diseñado para analizar y representar las condiciones de circulación de las vías estudiadas, y determinar los parámetros de Grado de Saturación en base a la ratio de volumen/ capacidad, niveles de servicio, demoras, colas y porcentaje de utilización de la capacidad de la Intersección (% ICU – Intersection Capacity Utilization).

### Situación actual (Turno tarde, Hora de Máxima Demanda)

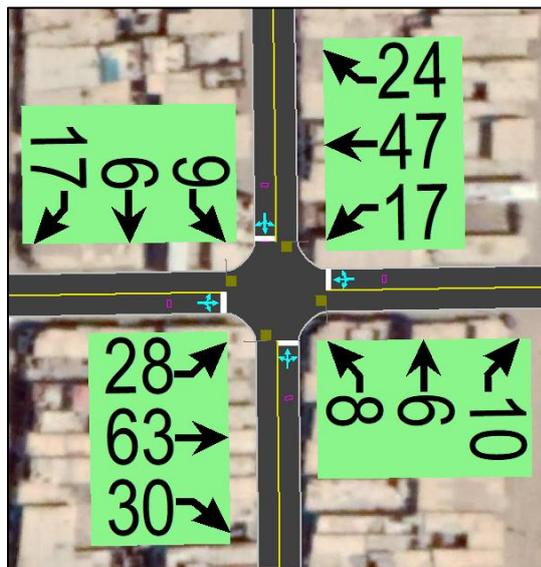
Hora punta : 13:30 – 14:30 hrs

Día : lunes 22 de agosto del 2022

Tabla 10 Análisis de Trafico y Capacidad Vial

INTERSECCION	HORA PUNTA	ESCENARIO ACTUAL		
		DEMORA MEDIA (seg)	ICU	NIVEL DE SERVICIO
CALLE 2	07:30 - 08:30	6.8	0.21	A

### Punto 1.- calle 2

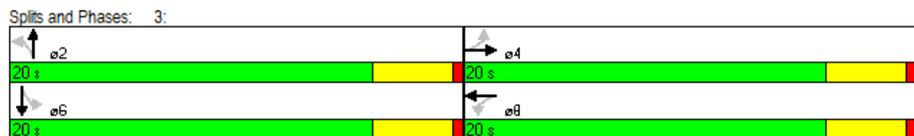


# "ADICIÓN DE CAL PARA ESTABILIZACIÓN DE SUBRASANTE EN EL DISEÑO DE PAVIMENTOS RÍGIDOS EN UN DISTRITO DEL NORTE DEL PERU"



Lane Group	EBL	EBT	EBR	WBL	WBT	WBR	NBL	NBT	NBR	SBL	SBT	SBR
Lane Configurations	↕				↕			↕			↕	
Volume (vph)	28	63	30	17	47	24	8	6	10	9	6	17
Ideal Flow (vphpl)	1900	1900	1900	1900	1900	1900	1900	1900	1900	1900	1900	1900
Lane Util. Factor	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Frt	0.966				0.963			0.945			0.931	
Fit Protected	0.989				0.991			0.984			0.986	
Satd. Flow (prot)	0	1602	0	0	1600	0	0	1559	0	0	1539	0
Fit Permitted	0.936				0.949			0.946			0.953	
Satd. Flow (perm)	0	1516	0	0	1532	0	0	1499	0	0	1487	0
Right Turn on Red			Yes				Yes				Yes	
Satd. Flow (RTOR)	33				26			11			18	
Link Speed (k/h)	50				50			30			30	
Link Distance (m)	45.6				46.2			46.8			53.2	
Travel Time (s)	3.3				3.3			5.6			6.4	
Peak Hour Factor	0.92	0.92	0.92	0.92	0.92	0.92	0.92	0.92	0.92	0.92	0.92	0.92
Adj. Flow (vph)	30	68	33	18	51	26	9	7	11	10	7	18
Shared Lane Traffic (%)												
Lane Group Flow (vph)	0	131	0	0	95	0	0	27	0	0	35	0
Enter Blocked Intersection	No											
Lane Alignment	Left	Left	Right									
Median Width(m)	0.0				0.0			0.0			0.0	
Link Offset(m)	0.0				0.0			0.0			0.0	
Crosswalk Width(m)	4.8				4.8			4.8			4.8	
Two way Left Turn Lane												
Headway Factor	1.14	1.14	1.14	1.14	1.14	1.14	1.14	1.14	1.14	1.14	1.14	1.14
Turning Speed (k/h)	25		15		25		15		25		15	
Turn Type	Perm		NA		Perm		NA		Perm		NA	
Protected Phases	4				8				2		6	
Permitted Phases	4				8				2		6	
Minimum Split (s)	20.0	20.0		20.0	20.0		20.0	20.0		20.0	20.0	
Total Split (s)	20.0	20.0		20.0	20.0		20.0	20.0		20.0	20.0	
Total Split (%)	50.0%	50.0%		50.0%	50.0%		50.0%	50.0%		50.0%	50.0%	
Maximum Green (s)	16.0	16.0		16.0	16.0		16.0	16.0		16.0	16.0	
Yellow Time (s)	3.5	3.5		3.5	3.5		3.5	3.5		3.5	3.5	
All-Red Time (s)	0.5	0.5		0.5	0.5		0.5	0.5		0.5	0.5	
Lost Time Adjust (s)	0.0				0.0				0.0		0.0	
Total Lost Time (s)	4.0				4.0				4.0		4.0	
Lead/Lag												
Lead-Lag Optimize?												
Walk Time (s)	5.0	5.0		5.0	5.0		5.0	5.0		5.0	5.0	
Flash Dont Walk (s)	11.0	11.0		11.0	11.0		11.0	11.0		11.0	11.0	
Pedestrian Calls (##/hr)	0	0		0	0		0	0		0	0	
Act Effct Green (s)	16.0				16.0				16.0		16.0	
Actuated g/C Ratio	0.40				0.40				0.40		0.40	
v/c Ratio	0.21				0.15				0.04		0.06	
Control Delay	7.3				6.8				6.1		5.6	
Queue Delay	0.0				0.0				0.0		0.0	
Total Delay	7.3				6.8				6.1		5.6	
LOS	A				A				A		A	
Approach Delay	7.3				6.8				6.1		5.6	
Approach LOS	A				A				A		A	

Area Type: CBD  
 Cycle Length: 40  
 Actuated Cycle Length: 40  
 Offset: 0 (0%), Referenced to phase 2:NBTL and 6:SBTL, Start of Green  
 Natural Cycle: 40  
 Control Type: Pre-timed  
 Maximum v/c Ratio: 0.21  
 Intersection Signal Delay: 6.8      Intersection LOS: A  
 Intersection Capacity Utilization 20.6%      ICU Level of Service A  
 Analysis Period (min) 15



## 7.- IDENTIFICACION DE IMPACTOS

### 7.1.- Situación Actual (Diagnostico)

El presente Estudio de Tránsito consiste en la evaluación de las vías afectadas por los trabajos de canalización, las características del desenvolvimiento del tránsito vehicular y proponer las acciones y medidas técnicas necesarias para el buen desenvolvimiento de las obras a ejecutarse, generando el menor impacto a los usuarios de la vía.

Los problemas que se generarán para el tránsito vehicular, luego del conocimiento de los volúmenes vehiculares existentes en la zona, radican en la irregularidad de las secciones viales y las escasas vías alternas para la proposición de desvíos, los cuales son angostos y mayormente vías locales de doble sentido de circulación con un carril cada uno, así mismo existen filas de moto taxis y Combis colectivos en diversas esquinas, en espera de pasajeros de manera anti técnica, pues se encuentran ubicados a una mínima distancia de la intersección, con lo cual no permiten girar cómodamente a otros vehículos.

En lo que respecta al tránsito peatonal, básicamente este no será afectado, toda vez que la interferencia será principalmente vehicular, sin embargo, cabe precisar que el tránsito peatonal es limitado, salvo en las zonas de uso comercial como son los mercados y tiendas donde indudablemente el tránsito peatonal se incrementa.

Las intersecciones donde se realizaron conteos vehiculares, según registro, presentan un óptimo flujo de tránsito vehicular.

Cabe precisar que en términos generales los volúmenes vehiculares disminuyen los fines de semana en todos los casos, por ello se diseñara un desvío considerando estas variables y no afectar el tránsito vehicular. A continuación, se describen las actividades más importantes a desarrollar:

- ✓ Implementar señalización vertical temporal a lo largo de la zona de trabajo y desvíos, por lo menos a 300 m. antes de los mismos, así como su debido mantenimiento preventivo para una mejor visibilidad.
- ✓ Delimitar y aislar con cintas y mallas de seguridad las zonas de obra y depósitos de materiales.
- ✓ Asegurar el adecuado acarreo del material para evitar ensuciar las vías y o que impacten con algún vehículo que circula.

- ✓ Evitar emisiones de polvos, así como asegurar e todo momento el orden y limpieza, a fin de evitar accidentes, daños personales y/o daños a terceros.
- ✓ Implementar el Mantenimiento de Tránsito con personal señalero.

Asimismo, las diferentes actividades durante la ejecución de la obra pueden generar impactos negativos en los peatones, usuarios y/o propietarios residentes de la zona de trabajo y el sector circundante. Por ello, para suplir estos impactos negativos, se implementará lo siguiente:

- ✓ Se canalizarán cruces peatonales sobre las zonas donde exista hospitales, colegios, hoteles, mercado, cementerio, etc, a fin de que los peatones puedan cruzar la vía por un espacio seguro.
- ✓ Brindar todas las facilidades a los residentes de la zona mediante la colocación de puentes vehiculares y Peatonales (mediante disposición de planchas de acero de suficiente resistencia) que cubran la zanja y no se entorpezca la circulación, para que los vehículos puedan ingresar a sus cocheras, y los peatones a sus viviendas, zonas comerciales, centro de labores, etc.
- ✓ Durante la noche también se debe hacer señalización luminosa adecuada que indique peligro en la zona de trabajo.
- ✓ La necesidad y ubicación de estos pases provisionales tanto para peatones como para vehículos será una labor que deba coordinarse in situ con los moradores de la zona durante la propia ejecución de las obras, en función de las necesidades reales de los mismos y del momento en que se encuentre la obra.
- ✓ La existencia de vías en trocha que no tienen continuidad (parte de los cerros), que son muy angostas y que presentan ciertos síntomas de deterioro (basura, desmonte, etc.), entre otros, hacen que cobre especial relevancia en estas zonas la coordinación en campo directa con los pobladores de la zona durante la ejecución de las obras, a fin de conocer sus prioridades y preferencias para implementar los pases necesarios y habilitar la accesibilidad de los mismos.
- ✓ La zona de trabajo se mantendrá aislada con mallas de seguridad, evitando así que los peatones crucen a través de ella.

## **7.2.- Situación durante la ejecución de la obra:**

Durante la Ejecución de las obras se debe considerar lo siguiente:

### **Principios Fundamentales:**

- ✓ Las estrategias para utilizar para el control temporal del tránsito en las vías que integran el Proyecto y vías aledañas a éstas, obstruidas e interferidas en forma parcial y/o total, asimismo en las vías que conforman sus alternativas de desvío, deben apoyarse en los siguientes principios fundamentales:
- ✓ La seguridad de los usuarios en áreas de control temporal de tránsito, debe ser un elemento integral y de alta prioridad de todo el proyecto.
- ✓ Los conductores y los peatones de las vías interferidas y afectadas por la ejecución del proyecto deben ser guiados de manera clara mediante dispositivos de control de tránsito (señales verticales, horizontales y adicionales), mientras se aproximan y atraviesan las zonas de las obras.
- ✓ Para la toma de decisiones de trabajo, cada persona, cuyas acciones afectan el control temporal del tránsito, debe recibir entrenamiento adecuado desde el nivel superior del personal administrativo hasta el personal de campo.
- ✓ La regulación del tránsito a través de las áreas de trabajo es una parte esencial en la ejecución de obras.

## 8.- MEDIDAS DE MITIGACIÓN DE IMPACTOS

### 8.1.- Situación Actual

Como resultado del aforo vehicular se puede considerar mencionar que el movimiento vehicular en la zona donde se efectuara los trabajos de “ADICIÓN DE CAL PARA ESTABILIZACIÓN DE SUBRASANTE EN EL DISEÑO DE PAVIMENTOS RÍGIDOS EN UN DISTRITO DEL NORTE DEL PERU”, es bastante uniforme durante el día, presentando los más altos volúmenes de tráfico, durante su hora de máxima demanda (HDM).

De acuerdo con los conteos realizados, se ha podido corroborar lo supuesto en cuanto a la categorización de las vías, predominando las vías con volumen de tránsito regular.

Se puede considerar que las vías analizadas presentan un nivel de comportamiento es de nivel “A” esto quiere decir que soportan flujos con libertad de maniobra por la carga vehicular.

Se cuenta con muchas vías alternas libres, de uso residencial, las cuales con la debida señalización podrán soportar los desvíos vehiculares planteados en el presente estudio.

Tabla 14 Situación Actual niveles de servicio de las vías analizadas

INTERSECCION	HORA CRITICA	ESCENARIO ACTUAL		
		DEMORA MEDIA (seg)	ICU	NIVEL DE SERVICIO
CALLE 2	01:30 - 14:30	6.8	0.21	A

Actualmente las vías afectadas al proyecto tienen un nivel de servicio “A” el cual refleja un **moderado flujo vehicular**. El nivel de servicio se mantendrá en “A” con flujo estable, regular velocidad o libertad de maniobra, cercana a la condición de flujo durante la ejecución de las obras.

De acuerdo con los conteos realizados, se ha podido corroborar lo supuesto en cuanto a la categorización de las vías, predominando las vías con volumen de tránsito bajo. Se cuenta con muchas vías alternas libres, las cuales con la debida señalización podrán soportar los desvíos vehiculares planteados en el presente estudio.

## 9.- CONCLUSIONES.

- Las vías del estudio que son mayormente locales tienen poca afluencia vehicular, en la calle 2, tienen mayor afluencia ya que es la principal vía del distrito.
- Puede considerarse como resultado del aforo que las vías analizadas, brindan un nivel de servicio A con una afluencia de nivel bajo, brindando así un flujo vehicular estable y con libertad de movimiento.
- Luego de la evaluación se puede concluir que la zona de proyecto cuenta con vías alternas que pueden ser usadas como desvíos durante la ejecución de las obras.
- En los puntos de control donde se hizo los aforos no se encontró presencia de semaforización esto debido al bajo flujo vehicular que presenta la zona de estudio en general.

## 10. - RECOMENDACIONES:

Al tener los resultados y conclusiones del presente Estudio de Transito, se recomienda lo siguiente:

- ✓ El presente estudio busca lograr la mayor seguridad e integridad de conductores y usuario en general de las vías intervenidas por el proyecto, concienciando y orientando a la población y entidades públicas sobre las medidas preventivas a tomar
- ✓ Disponer con la autorización de la calle 2 en el distrito del norte del Peru, así como los permisos correspondientes para la ejecución de la obra y de la interferencia de vías.
- ✓ Coordinar con la Policía Nacional para desviar y encauzar el tránsito en forma conjunta en los momentos críticos.
- ✓ Se deberá de contar con vigías /banderilleros y policías de tránsito, a fin de evitar el tráfico vehicular
- ✓ Programar los trabajos de manera que, en las vías utilizadas por el transporte público, sea de manera alternadas en calles paralelos que puedan permitir su desvío de tráfico.

## ANEXOS

### 1. Panel Fotográfico



**AFORO 01:** calle 2

