

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



TESIS

**“ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE LA COMBINACIÓN DE CAL Y
CEMENTO PORTLAND TIPO I C₀ COMO ADITIVO EN LAS PROPIEDADES
FÍSICO-MECÁNICAS DE LA SUBRASANTE DE LA AV. MANUEL NORIEGA
EN CAJAMARCA, 2022”**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO CIVIL**

AUTOR:

Bach. Vasquez Silva Briner

ASESOR:

Ing. Sifuentes Inostroza Lucio Marcial

CAJAMARCA – PERÚ

2023

CERTIFICADO DE ORIGINALIDAD

La que suscribe, Directora de la Unidad de Investigación de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Cajamarca certifica:

La originalidad de la tesis denominada **ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE LA COMBINACIÓN DE CAL Y CEMENTO PORTLAND TIPO I Co COMO ADITIVO EN LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DE LA SUBRASANTE DE LA AV. MANUEL NORIEGA EN CAJAMARCA, 2022**, realizada por el Bachiller en Ingeniería Civil **Briner Vasquez Silva** de acuerdo al resultado del análisis reportado por su asesor Ing. Lucio Marcial Sifuentes Inostroza con el software antiplagio Turnitin que identifica **19% (diecinueve por ciento)** de similitud, asignándole el código **oid:3117:301794446**.

Se expide el presente certificado para los fines pertinentes.

Cajamarca, 15 de enero del 2024

Documento firmado digitalmente

Dra. Yvonne Katherine Fernández León
Directora Unidad de Investigación Facultad de Ingeniería

Cc.
Archivo
c01224bv

**COPYRIGHT © 2023 by
BRINER VASQUEZ SILVA
Todos los derechos reservados**

AGRADECIMIENTOS

A Dios por darme salud y sabiduría para poder lograr uno de mis objetivos más anhelados el cual me acompañará toda mi vida.

Al ingeniero Lucio Marcial Sifuentes Inostrosa por ser parte de esta investigación y siempre apoyarme de manera incondicional.

A mi hermano Percy Vasquez Silva, a mi sobrino Yeferson Vasquez Silva y mi familia quienes fueron mi soporte para poder crecer cada día.

DEDICATORIA

A mis padres Honorato y Concesa, quienes me ayudaron e impulsaron de manera incondicional para poder culminar mi carrera.

A mis hermanos Percy y Porfirio, quienes fueron el ejemplo a seguir y siempre estuvieron pendientes de mí, los mismos que me ayudan a crecer cada día como persona y profesional.

ÍNDICE

AGRADECIMIENTOS	ii
DEDICATORIA	iii
ÍNDICE	iv
ÍNDICE DE TABLAS	vii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	x
RESUMEN	xii
ABSTRACT.....	xiii
CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN	14
1.1. Problemática.....	14
1.2. Descripción del Problema.....	15
1.3. Formulación del Problema.....	16
1.4. Justificación de la Investigación.....	16
1.5. Delimitaciones de la Investigación.....	16
1.6. Objetivos.....	16
1.6.1. Objetivo General.....	16
1.6.2. Objetivos Específicos.....	16
1.7. Limitaciones.....	17
1.8. Hipótesis.....	17
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO	18
2.1. Antecedentes Teóricos.....	18
2.1.1. Antecedentes Internacionales.....	18

2.1.2.	<i>Antecedentes Nacionales</i>	18
2.1.3.	<i>Antecedentes Locales</i>	19
2.2.	Bases Teóricas	20
2.2.1.	<i>Suelos</i>	20
2.2.2.	<i>La subrasante</i>	21
2.2.3.	<i>Ensayos de laboratorio</i>	22
2.2.3.6.	Clasificación de Suelos AASTHO	27
2.2.3.7.	Clasificación de Suelos mediante S.U.C.S.	33
2.2.4.	<i>Cal</i>	38
2.2.5.	<i>Cemento Portland</i>	39
2.2.6.	<i>Estabilización de suelos:</i>	41
2.2.7.	<i>Estabilización de Suelos con Cal</i>	42
2.2.8.	<i>Estabilización de Suelos con Cemento</i>	42
2.3.	Definición de términos básicos	44
CAPÍTULO III: MATERIALES Y MÉTODOS		46
3.1.	Ubicación geográfica de la zona de estudio	46
3.2.	Tipo y Diseño de Investigación	47
3.2.1.	<i>Por el Tipo</i>	47
3.2.2.	<i>Por el Nivel</i>	47
3.2.3.	<i>Por el Diseño</i>	47
3.3.	Variables	47
3.3.1.	<i>Clasificación de Variables</i>	47

3.4. Población y muestra	48
3.4.1. Población de estudio	48
3.4.2. Muestra	48
3.4.3. Unidad de análisis	49
3.5. Técnicas e instrumentos de recolección de datos	49
3.5.1. Técnica de recolección de datos	49
3.5.2. Instrumentos de recolección de datos	49
3.6. Procedimiento	50
3.6.1. Procedimiento de Recolección de Datos	50
CAPÍTULO IV: ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS	53
4.1. Resultados	53
4.2. Análisis y discusión de resultados	54
CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	60
5.1. Conclusiones	60
5.2. Recomendaciones	61
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	62
ANEXOS	65
ANEXO 1: PANEL FOTOGRÁFICO	66
ANEXO 2: TABLAS DE PRESENTACIÓN DE DATOS	74
ANEXO 3: CERTIFICADOS DE LABORATORIO	99
ANEXO 4: FICHAS TÉCNICAS	120
ANEXO 5: PLANO DE UBICACIÓN	124

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Límites de separación de tamaño de suelo	21
Tabla 2: Número de calicatas dependiendo el tipo de carretera	22
Tabla 3: Número de ensayos Mr y CBR.....	22
Tabla 4: N° de tamiz y tamaño de aberturas para el análisis granulométrico.....	23
Tabla 5: Clasificación de suelos según tamaño de partículas	23
Tabla 6: Gravedad Específica de suelos	25
Tabla 7: Clasificación de suelo según su IP	27
Tabla 8: Clasificación de suelo según su índice de grupo	29
Tabla 9: Clasificación de suelo, según AASHTO	32
Tabla 10: Clasificación de suelo, según S.U.C.S.....	34
Tabla 11: Criterios para clasificar el suelo, según S.U.C.S	35
Tabla 12: Categoría de subrasante en función a su índice CBR.....	38
Tabla 13: Requisitos mínimos de la cal hidratada	39
Tabla 14: Requisitos mínimos del cemento Portland Tipo I Co.....	41
Tabla 15: Muestras de laboratorio a calicatas para clasificación de suelo.	48
Tabla 16: Muestras de laboratorio realizados en el suelo más desfavorable.....	48
Tabla 17: Ensayos de laboratorio realizados en la investigación	51
Tabla 18: Resultado de ensayos de suelo en estado natural	53
Tabla 19: Resultado de ensayos de suelo de calicata C1 con adición de la combinación de 1% de cal y 1% de cemento Portland tipo I Co, 2% de cal y 2% de cemento Portland tipo I Co y 3% de cal y 3% de cemento Portland tipo I Co	53
Tabla 20: Resumen de los Límites de Atterberg de calicata C1	54
Tabla 21: Resumen de la compactación Proctor modificado y CBR (95% DSM) de calicata	

C1	56
Tabla 22: Ensayo de Contenido de Humedad de la muestra en estado natural de calicata	
C1.....	75
Tabla 23: Ensayo de Límites de Atterberg de la muestra en estado natural de calicata C1... 76	
Tabla 24: Ensayo de Análisis Granulométrico de la muestra en estado natural de calicata C1	
.....	77
Tabla 25: Ensayo de Gravedad Específica de la muestra en estado natural de calicata C1... 78	
Tabla 26: Ensayo de Proctor Modificado de la muestra en estado natural de calicata C1..... 79	
Tabla 27: Ensayo de CBR de la muestra en estado natural de calicata C1 80	
Tabla 28: Ensayo de Límites de Atterberg de la muestra con adición de la combinación de	
1% de cal y 1% de cemento portland tipo I Co	82
Tabla 29: Ensayo de Proctor Modificado de la muestra con adición de la combinación de 1%	
de cal y 1% de cemento portland tipo I Co	83
Tabla 30: Ensayo de CBR de la muestra con adición de la combinación de 1% de cal y 1%	
de cemento portland tipo I Co	84
Tabla 31: Ensayo de Límites de Atterberg de la muestra con adición de la combinación de	
2% de cal y 2% de cemento portland tipo I Co	86
Tabla 32: Ensayo de Proctor Modificado de la muestra con adición de la combinación de 2%	
de cal y 2% de cemento portland tipo I Co	87
Tabla 33: Ensayo de CBR de la muestra con adición de la combinación de 2% de cal y 2%	
de cemento portland tipo I Co	88
Tabla 34: Ensayo de Límites de Atterberg de la muestra con adición de la combinación de	
3% de cal y 3% de cemento portland tipo I Co	90
Tabla 35: Ensayo de Proctor Modificado de la muestra con adición de la combinación de	

3% de cal y 3% de cemento portland tipo I Co 91

Tabla 36: Ensayo de CBR de la muestra con adición de la combinación de 3% de cal y 3%
de cemento portland tipo I Co 92

Tabla 37: Ensayo de Contenido de Humedad de la muestra en estado natural de calicata
C2..... 95

Tabla 38: Ensayo de Límites de Atterberg de la muestra en estado natural de calicata C2... 96

Tabla 39: Ensayo de Análisis Granulométrico de la muestra en estado natural de calicata C2
..... 97

Tabla 40: Ensayo de Gravedad Específica de la muestra en estado natural de calicata C2... 98

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Ubicación referencial de la Avenida Manuel Noriega.....	46
Figura 2: Procedimiento de la investigación.	51
Figura 3: Variación del límite líquido con la añadidura de cal y cemento Portland Tipo I Co.	54
Figura 4: Variación del límite plástico con la añadidura de cal y cemento Portland Tipo I Co.	55
Figura 5: Variación del índice de plasticidad con la añadidura de cal y cemento Portland Tipo I Co.	55
Figura 6: Variación del óptimo contenido de humedad con la añadidura de cal y cemento Portland Tipo I Co	57
Figura 7: Variación de la densidad máxima con la añadidura de cal y cemento Portland Tipo I Co	57
Figura 8: Variación del CBR con la añadidura de cal y cemento Portland Tipo I Co.	58
Figura 9: Excavación de calicata para extracción de la muestra de suelo.....	67
Figura 10: Pesado de la muestra en estado natural.....	67
Figura 11: División del material en 4 partes iguales (cuarteo).....	68
Figura 12: Ensayo de tamizado por lavado.	68
Figura 13: Tamizado de la muestra seca en la malla N° 40.	69
Figura 14: Preparación de muestras para el ensayo de límite plástico.	69
Figura 15: Cal y Cemento Portland tipo I Co utilizado como aditivo.....	70
Figura 16: Ejecución de ensayo proctor modificado.....	70
Figura 17: Mezcla de suelo, cal, cemento portland tipo I Co y agua para ensayo de proctor modificado.	71

Figura 18: Ensayo de gravedad especifica asesorado por el Ing. Lucio Sifuentes Inostrosa.	71
Figura 19: Pesado de cal y cemento para ensayo de CBR.....	72
Figura 20: Compactación de la muestra para ensayo de CBR.	72
Figura 21: Medida del hinchamiento con ayuda del deformímetro para ensayo de CBR.....	73
Figura 22: Carga penetración para ensayo de CBR.....	73
Figura 23: Graficas de relación de capacidad de soporte CBR de la muestra de suelo en estado natural	81
Figura 24: Graficas de relación de capacidad de soporte CBR de la muestra de suelo con adición de la combinación de 1% de cal y 1% de cemento portland tipo I Co.....	85
Figura 25: Graficas de relación de capacidad de soporte CBR de la muestra de suelo con adición de la combinación de 2% de cal y 2% cemento portland tipo I Co.	89
Figura 26: Graficas de relación de capacidad de soporte CBR de la muestra de suelo con adición de la combinación de 3% de cal y 3% de cemento portland tipo I Co.....	93
Figura 27: Perfil estratigráfico de calicata C1.....	94

RESUMEN

En la presente investigación se analizó, el comportamiento de la cal y cemento portland tipo I Co como aditivo en el suelo que forma parte de la subrasante de la avenida Manuel Noriega. Por lo cual se realizaron ensayos de contenido de humedad, granulometría, gravedad específica, límite líquido, límite plástico, Proctor modificado y California Bearing Ratio (CBR) mediante los cuales se evaluó el efecto de la cal y el cemento Portland tipo I Co en las propiedades físico mecánicas del suelo de acuerdo al índice de plasticidad e índice de CBR. Se utilizó la combinación de 1% de cal y 1% de cemento Portland tipo I Co, 2% de cal y 2% de cemento Portland tipo I Co y 3% de cal y 3% de cemento Portland tipo I Co como agente estabilizante respecto al peso seco del suelo. Por el método AASHTO el suelo se clasifica A - 2 - 6 (1) y de acuerdo al método SUCS en un suelo SC, siendo este un suelo areno arcilloso. Al agregar 3% de cal y 3% cemento Portland Tipo I Co, su índice de plasticidad disminuye de 19% a 7% y su índice de CBR aumentó de 7.40% a 48.20% para una DSM de 95%; de esta manera se obtuvo un suelo de baja plasticidad y un suelo excelente para subrasante de acuerdo al Manual de Carreteras “Suelo, Geología, Geotecnia y Pavimentos”.

Palabras Clave: *Subrasante, cal, cemento, suelo areno arcilloso, índice de plasticidad, capacidad de soporte CBR.*

ABSTRACT

In the present investigation, the behavior of lime and Portland cement type I Co as an additive in the soil that is part of the subgrade of Manuel Noriega Avenue was analyzed. Therefore, tests of moisture content, granulometry, specific gravity, liquid limit, plastic limit, modified Proctor and California Bearing Ratio (CBR) were carried out through which the effect of lime and Portland cement type I Co on the physical-mechanical properties of the soil according to the plasticity index and CBR index. The combination of 1% lime and 1% Portland cement type I Co, 2% lime and 2% Portland cement type I Co and 3% lime and 3% Portland cement type I Co was used as a stabilizing agent regarding to the dry weight of the soil. By the AASHTO method the soil is classified A - 2 - 6 (1) and according to the SUCS method in a SC soil, this being a sandy clay soil. By adding 3% lime and 3% Type I Co Portland cement, its plasticity index decreases from 19% to 7% and its CBR index increased from 7.40% to 48.20% for a DSM of 95%; In this way, a soil with low plasticity and an excellent soil for subgrade was obtained according to the Highway Manual “Soil, Geology, Geotechnics and Pavements”.

Keywords: *Subgrade, lime, cement, clayey sandy soil, plasticity index, CBR bearing capacity.*

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

1.1. Problemática

Las vías son una parte muy importante de la red vial de la ciudad de Cajamarca y en todo el Perú, sin embargo, en la actualidad existe un gran número de accesos sin pavimentar los cuales presentan problemas de pérdida de capacidad de carga, pérdida de agregado, debido a que se encuentran expuestos a cambios en sus propiedades, porque no cuentan con una estructura superficial, o principalmente debido al inadecuado uso de materiales utilizados en las diferentes capas que tiene un pavimento (Flores, 2022).

Portugal, (2022) El conocer las características que presenta un acceso bastante transitado es muy importante, generalmente en el contexto mundial la apertura de nuevos accesos que conectan las ciudades, es muy significativo, usualmente estos accesos al inicio de su apertura presentan una serie de defectos, que con el transcurso del tiempo se van corrigiendo, sin embargo en algunos países del contexto mundial es importante y se toma muy en serio, porque de ello depende el desarrollo de las ciudades, porque se tiene en claro que son como las arterias que conectan a todo un sistema, entonces cuando llevan a cabo la construcción de sus vías de acceso, éstas se ejecutan de la mejor manera; para ello utilizan diferentes aditivos, con el propósito de mejorar la capacidad de soporte que pueden tener, y con esto obtener que el período de vida útil de las vías sea el más duradero posible.

Existen países que son referentes para el contexto en la construcción de carreteras, por ejemplo Noruega, un país que se encuentra interconectado por grandes extensiones de carreteras y de acuerdo a las encuestas realizadas en el año 2021, el 98% de estos accesos se encuentran asfaltados, con un periodo de vida útil de más de 50 años, es por ello que existe gran afluencia entre las ciudades de este país, con ello se benefician considerablemente, como lo es; el sector comercio, el turismo, entre otros, ya que sus accesos se encuentran en óptimas condiciones. Sin embargo, Perú es opuesto a la realidad de Noruega, ya que usualmente los

caminos de nuestras ciudades en su gran mayoría se encuentran en pésimas condiciones, debido a diferentes factores: uno de ellos generalmente porque no se realizan los estudios adecuados para determinar la capacidad portante de los suelos, otro factor es que las carreteras se realizan sin tener en cuenta los estudios previos o normalmente sin contar con la opinión de un especialista en ingeniería, otro aspecto importante es que se deja de lado el mantenimiento rutinario que deben tener, como por ejemplo las cunetas, siendo un factor importante en la época de lluvias para que drene el agua que discurre por las carreteras, a ello hay que sumarle el desinterés de las autoridades en este caso municipales, provinciales y también regionales por el mantenimiento de estas, es debido a ello que con el pasar del tiempo el deterioro es aún más marcado, volviéndose de esta manera, un camino intransitable (Flores, 2022)

La ciudad de Cajamarca no se encuentra ajena a la falta de pavimentación en sus accesos, dentro de la ciudad aún existe caminos sin pavimentar, siendo así un problema para los ciudadanos, en esta investigación se propone realizar un análisis del comportamiento de la cal más cemento portland tipo I Co como aditivo en las propiedades físico-mecánicas de la subrasante de la Av. Manuel Noriega, con el propósito de determinar qué cantidades son las más adecuadas de los aditivos mencionados previamente y así obtener resultados favorables en las propiedades físico-mecánicas del suelo.

1.2. Descripción del Problema

La avenida Manuel Noriega es una importante vía de comunicación en la ciudad de Cajamarca. La subrasante de esta avenida está compuesta por suelos areno arcillosos, los cuales presentan una baja resistencia a la compresión y al corte, observando ahuellamientos, hundimientos e hinchamientos. Esto provoca problemas de estabilidad en la vía, especialmente bajo cargas dinámicas, como las cargas de tráfico.

1.3. Formulación del Problema

¿Cómo influye la incorporación de cal y cemento portland tipo I Co como aditivo en las propiedades físico-mecánicas de la subrasante de la Av. Manuel Noriega en Cajamarca, 2022?

1.4. Justificación de la Investigación

La investigación se fundamenta en conocer y evaluar las ventajas técnicas de la estabilización de suelos con cal y cemento portland tipo I Co en diferentes proporciones, siendo una alternativa de mejora de las propiedades físico – mecánico en el suelo de fundación de la subrasante.

1.5. Delimitaciones de la Investigación

Se evaluó el suelo de las dos calicatas realizadas a lo largo de 684.42 m de la Av. Manuel Noriega, encontrándose en la calicata C1 el suelo más desfavorable y con este se realizaron los ensayos de contenido de humedad, límites de Atterberg, proctor modificado, CBR; agregando la combinación de 1% de cal y 1% de cemento Portland tipo I Co, 2% de cal y 2% de cemento Portland tipo I Co y 3% de cal y 3% de cemento Portland tipo I Co.

1.6. Objetivos

1.6.1. Objetivo General

Analizar el comportamiento de la combinación de cal y cemento portland tipo I Co como aditivo en las propiedades físico-mecánicas del suelo de la subrasante de la Av. Manuel Noriega en Cajamarca, 2022.

1.6.2. Objetivos Específicos

O.E.1. Clasificar el suelo existente en la Av. Manuel Noriega.

O.E.2. Determinar las propiedades físicas - mecánicas del suelo: contenido de humedad, granulometría, gravedad específica, límites de Atterberg, proctor modificado y CBR.

O.E.3. Determinar el comportamiento del índice de plasticidad y el índice de CBR con adición de la combinación de 1% de cal y 1% de cemento Portland tipo I Co, 2% de cal y 2% de cemento Portland tipo I Co y 3% de cal y 3% de cemento Portland tipo I Co.

1.7. Limitaciones

Los resultados obtenidos en este estudio aplican únicamente a suelos areno arcillosos presente en el suelo de fundación de la avenida Manuel Noriega o suelos similares encontrados en otros proyectos viales.

1.8. Hipótesis

La incorporación de cal y cemento Portland tipo I Co, como aditivo estabilizador del suelo que conforma la subrasante de la Av. Manuel Noriega, reduce el índice de plasticidad y el índice de CBR aumenta.

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes Teóricos

2.1.1. Antecedentes Internacionales

Elizondo Arrieta y otros, (2017) en su investigación, Efecto de la cal en la estabilización de subrasantes, en Costa Rica.

Los autores en la investigación utilizaron la cal como un estabilizador logrando mejorar sus propiedades de resistencia, aumento en la trabajabilidad reducir la plasticidad. Luego de realizar los respectivos análisis obtuvieron resultados con mejoras en las propiedades mecánicas y también las propiedades de durabilidad en el material de la subrasante al momento de incorporar la cal como un material estabilizador, de acuerdo a los resultados también se ha podido observar que a medida que se aumenta la dosificación de cal, las propiedades también son mejores en la subrasante. Los autores también indican que con una adición de cal del 6% o más puede transformarse en un suelo de baja plasticidad y alta resistencia, siendo este un suelo con propiedades aptas para ser utilizado como sub base e inclusive como base.

Altamirano Navarro & Díaz Sandino, (2015) en su investigación, Estabilización de suelos cohesivos por medio de cal en las vías de la comunidad de San Isidro del Pegón, municipio Potosí-Rivas, de la Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua.

Los investigadores realizaron la estabilización de arcillas de baja capacidad de carga, elevado índice de plasticidad y un elevado porcentaje de expansión debido a la humedad con una adición de 3, 6, 9 y 12% de cal, obteniendo las mejores condiciones para un 9% de adición, con un límite líquido 44%, índice de plasticidad 9%, CBR 57.2% y expansión máxima de 3.1%.

2.1.2. Antecedentes Nacionales

Góngora Velásquez, (2019) en su investigación, Influencia de la cal y el cemento portland tipo I en la subrasante de la trocha del distrito de Chillia, provincia de Pataz,

2019, de la Universidad Privada del Norte de Trujillo.

El autor planteó recoger datos de cuatro calicatas todas ellas obtenidas a lo largo de 4 km que ostenta la trocha carrozable, obteniendo un suelo areno limoso, posteriormente realizar el ensayo de CBR para especímenes con 2 y 4% de cal versus el 2 y 4% de cemento de Portland tipo I, obteniendo los mejores resultados para una adición de 4% de cemento Portland tipo I en el que aumenta el CBR natural de 2.77% hasta un 57.33%, de esta manera haciendo que se convierta la sub rasante de un valor inadecuado a obtener un valor excelente.

Muñoz Torres, (2021) en su investigación, Influencia de la cal y cemento tipo I en las propiedades de la subrasante en la Avenida Toribio Luzuriaga, Paramonga 2021, de la Universidad César Vallejo.

Incorporó cal en un 8, 14 y 20%, logrando obtener los mejores resultados al incorporar 20%; reduciendo el índice de plasticidad de 3.5% a 2.5% y un incremento en el ensayo de CBR al 95% de 8% a 16.2%. Al mismo tiempo analizó la incorporación de cemento tipo I en un 3, 4.5 y 6%, donde obtuvo un aumento en el índice de plasticidad de 3.5% a 4.4%, de igual manera en el ensayo de CBR al 95% aumentó de 8% a 18% al adicionar 6% de cemento tipo I.

2.1.3. Antecedentes Locales

Velásquez Pereyra, (2018) en su investigación, Influencia del cemento portland tipo I en la estabilización del suelo arcilloso de la subrasante de la Avenida Dinamarca, sector la Molina, de la Universidad Nacional de Cajamarca.

Empleó el cemento Portland tipo I, como estabilizador de la subrasante en porcentajes de 1%, 3% y 5% para un suelo arcilloso, siendo el óptimo al adicionar el 5% del cemento reduciendo el índice de plasticidad de 44% a 15%, de igual forma el índice de contracción también se redujo de 27% a 19%, en cambio el índice de CBR se incrementó de 1.30% hasta 13.75%.

Jara Anyaypoma, (2014) en su investigación, Efecto de la cal como estabilizante de una subrasante de suelo arcilloso, de la Universidad Nacional de Cajamarca.

Utilizó la cal como estabilizante para un suelo arcilloso de 2, 4 y 6% para mejorar las propiedades físico – mecánicas de la subrasante, obteniendo una disminución en el índice de plasticidad de 36.87% a 9.23% con adición de 6% de cal y un aumento considerable en el CBR con adición del 4% de cal siendo este de 2.55% a 11.48%.

2.2. Bases Teóricas

2.2.1. Suelos

El suelo es un agregado de partículas orgánicas e inorgánicas que proviene de la desintegración y alteración física y/o química, de las rocas y residuos, el cual constituye de soporte de estructuras como edificaciones, carreteras, canales, puentes entre otros, Crespo (2004). Además, los suelos están en constante cambio, modificación tanto a procesos físicos como biológicos los cuales ocasionan la existencia de diferentes tipos de suelos, (De la Cruz & Salcedo, 2016).

2.2.1.1. Tipos de suelos según la geotecnia

Altamirano & Díaz, (2015) lo clasifican de la siguiente manera:

- **Las gravas:** Son aquellos suelos en los cuales no existe cohesión y se lucen de trozos granulares que presentan la forma circular o angulosa, cuyas partículas varían entre 76.2 mm hasta 2 mm de diámetro.
- **Las arenas:** Presentan dos tipos las de grano grueso y fino. La primera mezclada con grava, es sumamente estable; mientras la segunda acumula demasiada humedad volviéndose inestables. Sus partículas varían entre los 0.05 mm hasta los 2 mm de diámetro. Las gravas y arenas suelen encontrarse en el mismo lugar.
- **Los limos:** Son aquellos suelos que pasan por la malla N°200, sus partículas están

comprendidas entre 0.05 mm y 0.005 mm de diámetro. Además, entre ellas existe elementos orgánicos que muchas veces son visibles y otras no; la plasticidad de estos limos es menor a la de las arcillas.

- **Las Arcillas:** Lo conforman aquellos suelos que se generan de la descomposición química y mineralógica de las rocas, cuando están húmedos son flexibles y si están secos son duros; sus partículas tienen un diámetro menor a 0.005 mm, además limitan la infiltración de agua.

Tabla 1: Límites de separación de tamaño de suelo

Nombre de la organización	Tamaño de grano (mm)			
	Grava	Arena	Limo	Arcilla
MIT	>2	2 a 0.06	0.06 a 0.002	<0.002
USDA	>2	2 a 0.06	0.05 a 0.002	<0.002
AASHTO	76.2 a 2	2 a 0.075	0.075 a 0.002	<0.002
SUCS	76.2 a 2	2 a 0.075	Finos (p. ej. Limos y arcillas < 0.075)	

Fuente: Braja M, 2013

2.2.2. La subrasante

Es la superficie final de la carretera después de realizar los movimientos de tierra necesarios, como cortes y rellenos. La subrasante proporciona la base sobre la cual se coloca la estructura del pavimento (MEF, 2015).

Para determinar las propiedades del suelo, se debe realizar la excavación de calicatas de 1.50 m de profundidad, como lo señala la norma técnica peruana. De acuerdo, al Ministerios de Transportes y Comunicaciones (MTC), determina que la cantidad de calicatas a realizarse, depende del tipo de carretera que presente, tal como lo señala la Tabla 2 (MTC, 2014).

Tabla 2: *Número de calicatas dependiendo el tipo de carretera*

TIPO DE CARRETERA	PROFUNDIDAD (m)	NÚMERO MÍNIMO DE CALICATAS
CARRETERAS DE TERCERA CLASE	1.50 m respecto al nivel de subrasante del proyecto	2 calicatas x km

Fuente: Adaptado del Manual de Diseño Geométrico de Carreteras (MTC, 2014)

En la Tabla 3 se expone las cantidades de CBR que se debe hacer en una red vial, según el tipo de carretera presente, cuanto mayor sea el nivel de transitividad es una vía.

Tabla 3: *Número de ensayos Mr y CBR*

TIPO DE CARRETERAS	Nº MR Y CBR
CARRETERAS DE TERCERA CLASE: Carreteras con un IMDA entre 400-201 veh/día, de una calzada.	Cada 2 km se realizará un CBR

Fuente: Adaptado del Manual de Diseño Geométrico de Carreteras (MTC, 2014)

2.2.3. *Ensayos de laboratorio*

2.2.3.1. **Análisis Granulométrico por Tamizado ASTM D-422, MTC E107**

Este análisis sirve para determinar cuantitativamente la distribución de tamaños de las partículas del suelo, según la norma ASTM D-422, describe el método para determinar los porcentajes de suelo que pasan por los distintos tamices empleados en el ensayo, hasta la malla N° 200 (diámetro 0.074 mm) tal como se muestra en la Tabla 4.

El análisis granulométrico se basa en una curva granulométrica, donde se muestra el diámetro de tamiz versus el porcentaje acumulado que pasa o que se retiene, de acuerdo al uso que se quiere dar al agregado.

Tabla 4: *N° de tamiz y tamaño de aberturas para el análisis granulométrico*

N° DE TAMIZ	ABERTURA (mm)
3"	75,000
2"	50,800
1 1/2"	38,100
1"	25,400
3/4"	19,000
3/8"	9,500
N° 4	4,760
N° 10	2,000
N° 20	0.840
N° 40	0.425
N° 60	0.260
N° 140	0.106
N° 200	0.075

Fuente: Manual de Carreteras “Suelo, Geología, Geotecnia y Pavimentos” (MTC, 2014)

Tabla 5: *Clasificación de suelos según tamaño de partículas*

TIPO DE MATERIAL	TAMAÑO DE LAS PARTÍCULAS
GRAVA	75 mm – 4.75 mm
ARENA	Arena gruesa: 4.75 mm – 2.00 mm Arena media: 2.00 mm – 0.075 mm Arena fina: 0.425 mm – 0.075 mm
MATERIA FINO	Limo 0.075mm – 0.005 mm Arcilla Menos a 0.005 mm

Fuente: Manual de Carreteras “Suelo, Geología, Geotecnia y Pavimentos” (MTC, 2014)

2.2.3.2. Análisis Granulométrico Mediante Tamizado por Lavado ASTM D-421

Este ensayo se realiza lavando una muestra de suelo seco en un recipiente agitando manualmente, haciendo uso de agua corriente la misma que pasa por la malla de 0.075 mm (N° 200) hasta observar que el agua que pasa sea clara.

Luego la muestra retenida en la malla (N° 200), se seca en el horno y se realiza el tamizado de

acuerdo al MTC E 107.

2.2.3.3. Contenido de Humedad ASTM D-2216, NTP 339-127

El ensayo tiene por finalidad, determinar el contenido de humedad de una muestra del suelo. El contenido de humedad sirve para determinar si es mayor o menor del contenido óptimo para poder compactar la sub rasante (Ramos, 2014).

El método tradicional para determinar la humedad del suelo en el laboratorio, se realiza por medio del secado a horno, donde la humedad de un suelo es la relación expresada en porcentaje entre el peso del agua existente en una determinada masa de suelo y el peso de las partículas sólidas, tal como se muestra en la siguiente Fórmula 1 (MTC, 2014).

$$\text{Humedad (\%)} = \frac{B - C}{C - A} \times 100 \quad \dots (1)$$

Dónde:

A = Peso de la tara

B = Peso de la tara + muestra húmeda

C = Peso de la tara + muestra seca

2.2.3.4. Gravedad Específica de Sólidos de un Suelo ASTM D-854, NTP 339-131

El ensayo de gravedad específica de sólidos de suelo que pasan el tamiz de 4,75 mm (N° 4) mediante un picnómetro de agua. El tamiz N° 4 es quién separa los suelos finos y gruesos para realizar los ensayos. El material que pasa el tamiz se analiza con la fiola, a través de la Fórmula 2 se determina el tipo de suelo y se clasifica según la Tabla 6 (MTC, 2014).

$$P_{w1} = P_{pw} - P_{ps}$$

$$P_{w2} = P_t - P_{ps} - P_{ss}$$

$$P_w = P_{w1} - P_{w2}$$

$$V_s = P_w$$

$$Dr = \frac{P_{ss}}{V_s} \dots (2)$$

Donde:

P_{w1} = Agua del picnómetro

P_{w2} = Agua del picnómetro con el suelo

P_{pw} = Peso del picnómetro con agua

P_{ps} = Peso del picnómetro solo

P_{ss} = Peso suelo seca

$P_t = P_{pw} + P_{ps} + P_{ss}$

P_w = Diferencia peso del agua

V_s = Volumen del suelo

Tabla 6: *Gravedad Específica de suelos*

TIPO DE SUELO	G_s
ARENA	2.64 - 2.66
LIMO	2.67 - 2.73
ARCILLA	2.70 - 2.90
YESO	2.60 - 2.75
LOESS	2.65 - 2.73
SUELO ORGÁNICO	Valores menos 2

Fuente: Manual de Carreteras “Suelo, Geología, Geotecnia y Pavimentos” (MTC, 2014)

2.2.3.5. Límites de Atterberg: Límite Líquido norma ASTM D 4318 ó MTC E 110,

Límite Plástico norma ASTM D4318 ó MTC E 111 e Índice de Plasticidad

IP norma MTC EM 111

- **Límite líquido**, es el porcentaje de contenido de humedad con el cual un suelo cambia del estado semilíquido a plástico y puede moldearse. (ASTM D - 423) y se determina de acuerdo a la Fórmula 3:

$$L.L. = W_N (N/25) \tan \beta \quad \dots (3)$$

Donde:

L.L. = Límite Líquido

W_N = Contenido de humedad natural

N = Número de golpes

- **Límite plástico**, es el contenido de humedad expresado en porcentaje del suelo cuando este pasa del estado plástico a un estado semisólido y empieza a romperse. (ASTM D - 424), y se determina de acuerdo a la Fórmula 4:

$$L.P. = \frac{P_h - P_s}{P_s} \times 100 = \frac{P_w}{P_s} \times 100 \quad \dots (4)$$

Donde:

L.P. = Límite Plástico

P_h = Peso de los trozos de filamentos húmedo (gr)

P_s = Peso de los trozos de filamentos seco (gr)

P_w = Peso del agua (gr)

- **Índice de Plasticidad (IP)**, se considera a la diferencia numérica entre el límite líquido

y el límite plástico. El IP, depende de la cantidad de arcilla, indica la finura del suelo y su capacidad para cambiar la configuración sin alterar el volumen. Un IP elevado, es un exceso de arcilla o coloides en el suelo. Mientras el LP (límite plástico) sea superior o igual al LL (Límite líquido), su valor será cero, y se determina de acuerdo a la Fórmula 5 y se ubica en la

Tabla 7:

$$IP = LL - LP \dots (5)$$

Donde:

I.P. = Índice de plasticidad

L.L. = Límite Líquido

L.P. = Limite Plástico

Tabla 7: Clasificación de suelo según su IP

ÍNDICE DE PLASTICIDAD	PLASTICIDAD	CARACTERÍSTICAS
IP>20	ALTA	Suelos muy arcillosos
IP≤20 IP>7	MEDIA	Suelos arcillosos
IP<7	BAJA	Suelos poco arcillosos
IP=0	NO PLÁSTICO (NP)	Suelos exentos de arcilla

Fuente: Manual de Carreteras "Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos" (MTC, 2014)

2.2.3.6. Clasificación de Suelos AASTHO

La AASTHO en su designación M 145 – 91 (especificación estándar para clasificación de suelos y mezclas de agregados para propósitos de construcción de carreteras), describe un procedimiento para la clasificación del suelo dentro de siete grupos, basados en el límite

líquido, índice de plasticidad y la distribución del tamaño de partículas. La evaluación del suelo dentro de cada grupo es hecha por medio del "índice de grupo" el cual es un valor calculado de una fórmula empírica.

El grupo de clasificación, incluyendo el índice de grupo deben ser utilizados para evaluar la calidad del material que compone el suelo para uso en estructuras de trabajos con tierra, subrasantes, subbases, bases y terraplenes.

2.2.3.6.1. Índice de grupo (IG)

El índice de grupo es calculado a partir de la siguiente ecuación:

$$IG=(F-35)*[0,2+0,005(LL-40)]+0,01(F-15)(IP-10) \quad .. (6)$$

Donde:

F = % que pasa por el Tamiz N° 200.

IP= Índice de plasticidad.

LL= Límite líquido.

IG= Se redondea a número entero si da negativo se asume el valor de cero.

Consideraciones significativas sobre el índice de grupo:

- La primera expresión de la ecuación: $(F - 35)[0.2 + 0.005(LL - 40)]$, es el índice parcial de grupo determinado con el límite líquido.
- La segunda expresión: $0.01(F - 15)(IP - 10)$, es el índice parcial de grupo determinado con el índice de plasticidad. El índice de grupo de los suelos de los subgrupos A-2-6 y A-2-7 debe calcularse utilizando solo este término.
- El porcentaje mínimo crítico asumido que pasa el tamiz 75 μm (No. 200) es 35 sin tener en cuenta la plasticidad, y 15 según se vea afectado por un índice de plasticidad mayor que 10.
- Un límite líquido mayor o igual a 40 es considerado como crítico.

- Un índice de plasticidad mayor o igual a 10 es considerado como crítico.
 - Cuando el índice de grupo calculado es negativo, se considerará como cero.
 - Para suelos no plásticos y cuando el límite líquido no puede ser determinado, el índice de grupo se considera cero.
 - El índice de grupo se reporta como el número entero más cercano.
 - No hay un límite superior del valor del índice de grupo calculado mediante la fórmula 6.
- Los valores críticos adoptados del porcentaje que pasa el tamiz 75 μm (No. 200), el límite líquido y el índice de plasticidad, se basan en una evaluación de los materiales de la subrasante, subbase y de la capa de base, por parte de varias clasificaciones de carreteras que utilizan las pruebas implicadas en este sistema de clasificación.
- Bajo condiciones normales de buen drenaje y mediante compactación, el valor de soporte de un material de subrasante puede ser asumido como una relación inversa del índice de grupo; es decir, un índice de grupo de cero indica un "buen material" de subrasante y un índice de grupo de 20 o mayor indica un "muy pobre material" de subrasante.

Tabla 8: *Clasificación de suelo según su índice de grupo*

ÍNDICE DE GRUPO	SUELO DE SUBRASANTE
IG > 9	Muy pobre
IG está entre 4 a 9	Pobre
IG está entre 2 a 4	Regular
IG está entre 1 a 2	Bueno
IG está entre 0 a 1	Muy bueno

Fuente: Manual de Carreteras "Suelo, Geología, Geotecnia y Pavimentos" (MTC, 2014)

2.2.3.6.2. Descripción de los grupos de clasificación AASHTO

A. Suelos Granulares: Son los suelos que tienen 35% o menos de material fino que pasa por el Tamiz N° 200.

Grupo A-1: Lo comprende mezclas bien graduadas, compuestas por piedra, grava, arena y material ligante poco plástico. Este grupo tiene sus subgrupos:

- **A-1-a:** Compuesto por piedra y/o grava
- **A-1-b:** Compuesto por arena gruesa.

Grupo A – 3: El material característico de este grupo es arena fina de desierto o playa sin finos de limo o arcilla o con una pequeña cantidad de limo no plástico. El grupo incluye también mezclas de arena fina pobremente gradada y cantidades limitadas de arena gruesa y grava.

Grupo A – 2: Este grupo incluye una amplia variedad de materiales granulares los cuales están en el límite entre los materiales que caen en los grupos A – 1 y 17 A – 3 y los materiales limo arcillosos de los grupos A – 4, A – 5, A – 6, y A – 7. Este incluye todos los materiales que contienen el 35% o menos que pasa el tamiz 75 μm (No. 200) que no pueden ser catalogados como A – 1 o A – 3, debido al contenido de finos o plasticidad o ambos, que exceden las condiciones para aquellos grupos.

- **A – 2 – 4 y A – 2 – 5:** Incluyen varios grupos de materiales granulares que contienen 35% o menos que pasa el tamiz 75 μm (No. 200) y con una fracción menor a 0.425 mm (No. 40) tienen las particularidades de los grupos A – 4 y A – 5. Estos grupos incluyen materiales como arena gruesa y grava con contenido de limo o un índice de plasticidad que exceden los requisitos del grupo A – 1, y arena fina con contenido de limo no plástico que exceden las restricciones del grupo A – 3.

A – 2 – 6 y A – 2 – 7: Incluyen materiales similares a aquellos detallados bajo los subgrupos A – 2 – 4 y A – 2 – 5, excepto que la parte fina contiene arcilla plástica con las características de los grupos A – 6 o A – 7.

B. Suelos Finos: Contiene más del 35% de material fino que pasa por el Tamiz N° 200.

Grupo A-4: Lo comprende los suelos limosos o nada plásticos, que tienen 75% o más del

material fino que pasa por el Tamiz N° 200. Además, se le incluye mezclas de arena hasta el 64% y limo con grava.

Grupo A-5: Semejante al Grupo A-4, pero contiene material diatomáceo o micáceo.

Grupo A-6: Lo comprende las arcillas plásticas. Por lo menos el 75% debe pasar por el Tamiz N° 200, además, se incluyen las mezclas arcillo-arenosos, mientras el porcentaje de arena y grava sea menor al 64%.

Grupo A-7: Semejante al Grupo A-6, excepto que este tiene un elevado límite líquido característico del 18 grupo A – 5 y pueden ser elásticos, así como estar sometidos a altos cambios volumétricos.

- **A – 7 – 5:** Contiene aquellos materiales con índice de plasticidad moderado en relación al límite líquido, los cuales pueden ser altamente elásticos, así como estar sometidos a considerables cambios volumétricos.
- **A – 7 – 6:** Contiene aquellos materiales con alto índice de plasticidad en relación al límite líquido, los cuales están sometidos a cambios volumétricos extremadamente altos.

Tabla 9: Clasificación de suelo, según AASHTO

DIVISIÓN GENERAL	Materiales granulares (pasa menos del 35% por el Tamiz ASTM N° 200)							Materiales limo - arcillosos (pasa más del 35% por el Tamiz ASTM N° 200)				
	A-1		A-3	A-2				A-4	A-5	A-6	A-7	
GRUPO	A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7				A-7-5	A-7-6
Subgrupo												
Análisis granulométrico (porcentaje que pasa por cada tamiz)												
SERIE ASTM	N° 10	≤ 50										
	N° 40	≤ 30	≤ 50	≥ 51								
	N° 200	≤ 15	≤ 25	≤ 10	≤ 35	≤ 35	≤ 35	≤ 35	≥ 36	≥ 36	≥ 36	≥ 36
Estado de consistencia (de la fracción de suelo que pasa por el Tamiz ASTM N° 40)												
Límite líquido	NP			≤ 40	≥ 41	≤ 40	≥ 41	≤ 40	≥ 41	≤ 40	>41 IP<LL-30	>41 IP>LL-30
Índice de plasticidad	≤ 0				≤ 10	≤ 10	≥ 11	≥ 11	≤ 10	≤ 10	≥ 11	≥ 11
ÍNDICE DE GRUPO	0		0		0		≤ 4	≤ 8	≤ 12	≤ 20		≤ 20
TIPOLOGÍA	Fragmentos de piedra, grava y arena		Arena fina	Gravas y arenas limosas o arcillosas				Suelos limosos		Suelos arcillosos		
CALIDAD	EXCELENTE BUENA						ACEPTABLE A MALA					

Fuente: AASHTO M 145-91, 2004

2.2.3.7. Clasificación de Suelos mediante S.U.C.S

La clasificación de suelos mediante el método S.U.C.S, se determina en base a su granulometría y límites de Atterberg; siendo la malla N° 200 la más importante ya que es la que se analiza, si pasa más del 50% del material, se establece que es un suelo fino y si pasa menos del 50% del material, se define como un suelo grueso, la clasificación se determina de acuerdo a la Tabla 10 y teniendo los criterios de la Tabla 11.

Tabla 10: Clasificación de suelo, según S.U.C.S

SISTEMA UNIFICADO DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS (S.U.C.S)							
DIVISIÓN MAYOR		SÍMBOLO	NOMBRES TÍPICOS	CRITERIO DE CLASIFICACIÓN EN EL LABORATORIO			
SUELOS DE PARTÍCULAS FINAS (Más de la mitad del material pasa por la malla N° 200)	GRAVAS (Más de la mitad de la fracción gruesa es retenida por la malla N° 4) PARA LA CLASIFICACIÓN VISUAL PUEDE USARSE 1/2 CM COMO EQUIVALENTE A LA ABERTURA DE LA MALLA N° 4	GRAVA LIMPIA (Poco o nada de partículas finas)	GW	Gravas bien graduadas, mezclas de grava y arena con poco o nada de finos.	DETERMINESE LOS PORCENTAJES DE GRAVA Y ARENA DE LA CURVA GRANULOMÉTRICA, DEPENDIENDO DEL PORCENTAJE DE FINOS (Fracción que pasa por la malla N° 200) LOS SUELOS GRUESOS SE CLASIFICAN COMO SIGUE: Menos de 5% GW, GP, SW, GP, SW, SP. Más del 12% GM, GC, SM, SC. Entre 5% y 12% casos de frontera que requieren el uso de símbolos dobles.		
			GP	Gravas mal graduadas, mezclas de grava y arena con poco o nada de finos.			
		GRAVA CON FINOS (Cantidad apreciable de partículas finas)	GM	d		Gravas limosas, mezclas de grava, arena y limo.	LÍMITES DE ATTERBERG ABAJO DE LA "LÍNEA A" O I.P. MENOR QUE 4
				u			
		GC	Gravas arcillosas, mezclas de grava, arena y arcilla	LÍMITES DE ATTERBERG ARRIBA DE LA "LÍNEA A" O I.P. MAYOR QUE 7			
		ARENAS (Más de la mitad de la fracción gruesa pasa por la malla N° 4) PARA LA CLASIFICACIÓN VISUAL PUEDE USARSE 1/2 CM COMO EQUIVALENTE A LA ABERTURA DE LA MALLA N° 4	ARENA LIMPIA (Poco o nada de partículas finas)	SW		Arenas bien graduadas, arena con gravas, con poco o nada de finos.	DETERMINESE LOS PORCENTAJES DE GRAVA Y ARENA DE LA CURVA GRANULOMÉTRICA, DEPENDIENDO DEL PORCENTAJE DE FINOS (Fracción que pasa por la malla N° 200) LOS SUELOS GRUESOS SE CLASIFICAN COMO SIGUE: Menos de 5% GW, GP, SW, GP, SW, SP. Más del 12% GM, GC, SM, SC. Entre 5% y 12% casos de frontera que requieren el uso de símbolos dobles.
	SP			Arenas mal graduadas, arena con gravas, con poco o nada de finos.			
	ARENA CON FINOS (Cantidad apreciable de partículas finas)		SM	d	Arenas limosas, mezclas de arena y limo.	LÍMITES DE ATTERBERG ABAJO DE LA "LÍNEA A" O I.P. MENOR QUE 4	
				u			
	SC		Arenas arcillosas, mezclas de arena y arcilla.	LÍMITES DE ATTERBERG ARRIBA DE LA "LÍNEA A" O I.P. MAYOR QUE 7			
	LIMOS Y ARCILLAS Límite Líquido menor de 50		ML	Limos inorgánicos, polvo de roca, limos arenosos o arcillosos ligeramente plásticos.		G – Grava, S – Arena, O – Suelo Orgánico, P – Turba, M – Limo, C – Arcilla, W – Bien Graduada, P – Mal Graduada, L – Baja Compresibilidad, H – Alta Compresibilidad	
		CL		Arcillas inorgánicas de baja o media plasticidad, arcillas con grava, arcillas arenosas, arcillas limosas, arcillas pobres.			
OL		Limos orgánicos y arcillas limosas orgánicas de baja					
MH		Limos inorgánicos, limos micáceos o diatomáceos, más elásticos.					
	CH	Arcillas inorgánicas de alta plasticidad, arcillas francas.					
LIMOS Y ARCILLAS Límite Líquido menor de 50	OH	Arcillas orgánicas de media o alta plasticidad, limos orgánicos de media plasticidad.					
		P	Turbas y otros suelos altamente orgánicos.				
SUELOS ALTAMENTE ORGÁNICOS				<p>CARTA DE PLASTICIDAD (S.U.C.S.)</p>			

Fuente: Crespo Villalaz, 2004

Tabla 11: Criterios para clasificar el suelo, según S.U.C.S

CRITERIOS PARA CLASIFICAR SUELOS POR S.U.C.S	
SUELO FINO	Si el porcentaje que pasa la malla N° 200 es mayor al 50%
SUELO GRUESO	Si el porcentaje que pasa la malla N° 200 es menor al 50%
NOTA: Si es que pasa más del 50% de la malla N° 200, este suelo se evalúa en la carta de plasticidad. Ayudados de los límites de Atterberg. Si es que pasa menos del 50% de la malla N° 200, se siguen los siguientes criterios:	
SÍMBOLO	CRITERIOS
G	Menos del 50% pasa la malla N° 4.
S	Más del 50% pasa la malla N° 4.
GW	Menos del 5% pasa la malla N° 200; $C_u = D_{60}/D_{10}$ mayor que o igual que 4; $C_c = (D_{30})^2/(D_{10} \times D_{60})$ entre 1 y 3.
GP	Menos del 5% pasa la malla N° 200, no cumple ambos criterios para GW.
GM	Más del 12% pasa la malla N° 200; los límites de Atterberg se grafican debajo de la línea A (Ver Figura de la Tabla N° 9) o el índice de plasticidad menor que 4.
GC	Más del 12% pasa la malla N° 200; los límites de Atterberg se grafican debajo de la línea A (Ver Figura de la Tabla N° 9) o el índice de plasticidad mayor que 7.
GC - GM	Más del 12% pasa la malla N° 200; los límites de Atterberg caen en el área sombreada marcada CL - ML, en la Figura de la Tabla N° 9.
GW - GM	El porcentaje que pasa la malla N° 200 está entre 5 y 12, cumple los criterios para GW y GM.
GW - GC	El porcentaje que pasa la malla N° 200 está entre 5 y 12, cumple los criterios para GW y GC.
GP - GM	El porcentaje que pasa la malla N° 200 está entre 5 y 12, cumple los criterios para GP y GM.
GP - GC	El porcentaje que pasa la malla N° 200 está entre 5 y 12, cumple los criterios para GP y GC.
SW	Menos del 5% pasa la malla N° 200; $C_u = D_{60}/D_{10}$ mayor que o igual que 6; $C_c = (D_{30})^2/(D_{10} \times D_{60})$ entre 1 y 3.
SP	Menos del 5% pasa la malla N° 200, no cumple ambos criterios para SW.
SM	Más del 12% pasa la malla N° 200; los límites de Atterberg se grafican debajo de la línea A (Ver Figura de la Tabla N° 9) o el índice de plasticidad menor que 4.
SC	Más del 12% pasa la malla N° 200; los límites de Atterberg se grafican debajo de la línea A (Ver Figura de la Tabla N° 9) o el índice de plasticidad mayor que 7.
SC - SM	Más del 12% pasa la malla N° 200; los límites de Atterberg caen en el área sombreada marcada CL - ML, en la Figura de la Tabla N° 9.
SW - SM	El porcentaje que pasa la malla N° 200 está entre 5 y 12, cumple los criterios para SW y SM.
SW - SC	El porcentaje que pasa la malla N° 200 está entre 5 y 12, cumple los criterios para SW y SC.

CRITERIOS PARA CLASIFICAR SUELOS POR S.U.C.S	
SP - SM	El porcentaje que pasa la malla N° 200 está entre 5 y 12, cumple los criterios para SP y SM.
SP - SC	El porcentaje que pasa la malla N° 200 está entre 5 y 12, cumple los criterios para SP y SC.
CL	Inorgánico; LL < 50; PL > 7; ver la gráfica sobre o arriba de la línea A (Véase zona CL en la Figura de la Tabla N° 9)
ML	Inorgánico; LL < 50; PL < 4; ver la gráfica debajo de la línea A (Véase zona ML en la Figura de la Tabla N° 9)
OL	Orgánico; (LL - seco en horno)/(LL - sin secar); < 0.75; LL < 50; (Véase zona OL en la Figura de la Tabla N° 9)
CH	Inorgánico; LL ≥ 50; PI se gráfica, sobre o arriba de la línea A (Véase zona CH en la Figura de la Tabla N° 9)
MH	Inorgánico; LL ≥ 50; PI se gráfica, debajo de la línea A (Véase zona MH en la Figura de la Tabla N° 9)
OH	Orgánico; (LL - seco en horno)/(LL - sin secar); < 0.75; LL ≥ 50; (Véase zona OH en la Figura de la Tabla N° 9)
CL - ML	Inorgánico; se grafica en la zona sombreada (Ver Figura de la Tabla N° 9)
P	Turba, lodos y otros suelos altamente orgánicos.

Fuente: Adecuado de la norma ASTM D 2487.

2.2.3.8. Proctor Modificado según norma ASTM D-1557

El Proctor Modificado determina la relación entre la humedad y densidad de un suelo en particular, aplicando un esfuerzo a través de una energía específica de compactación mediante la caída de un pisón de 10 lbf de una altura de y 18”, dentro de un molde cilindro de 4” y 6” de diámetro, produciendo una energía de compactación de 56000 pie-lbf/pie³.

$$\rho_m = 1000 * \frac{(M_t - M_{md})}{V}$$

Donde:

ρ_m = Densidad húmeda del espécimen compactado (Mg/m³)

M_t = Masa del espécimen húmedo y el molde (kg)

M_{md} = Masa del molde de compactación (kg)

V = Volumen del molde de compactación (m³)

$$\rho_d = \frac{\rho_m}{1 + \frac{W}{100}}$$

Donde:

ρ_d = Densidad seca del espécimen compactado (Mg/m^3)

W = Contenido de agua (%)

2.2.3.9. CBR California Bearing Ratio ASTM D-1883

Este ensayo se realiza después de la clasificación de suelos por AASHTO y S.U.C.S, luego de haber conseguido el resultado del contenido de humedad optimo que nos proporciona el ensayo de proctor modificado.

El índice de california es la resistencia al esfuerzo cortante del suelo, bajo medidas de densidad y humedad, controladas cuidadosamente logrando obtener un porcentaje de la relación de soporte.

El ensayo de CBR se utiliza para proyectar, el valor que se obtiene para una penetración de 0.1 y 0.2 pulgadas. El CBR, de la muestra varía de acuerdo al grado de compactación y el contenido de humedad (MTC,2014).

Una vez determinado el valor de diseño de CBR para cada tramo con propiedades semejantes, se obtendrá la categoría de subrasante a la que representa el sector con ayuda de la siguiente tabla:

Tabla 12: *Categoría de subrasante en función a su índice CBR*

Categorías de subrasante	Índice de CBR
Subrasante inadecuada	$CBR < 3\%$
Subrasante insuficiente	$3\% \leq CBR < 6\%$
Subrasante regular	$6\% \leq CBR < 10\%$
Subrasante buena	$10\% \leq CBR < 20\%$
Subrasante muy buena	$20\% \leq CBR < 30\%$
Subrasante excelente	$30\% \leq CBR$

Fuente: Manual de Carreteras "Suelo, Geología, Geotecnia y Pavimentos" (MTC 2014)

2.2.4. Cal

La cal es un producto compuesto por óxido de calcio y magnesio que es el resultado de la calcinación de rocas calizas y dolomitas.

Durante el proceso de calcinación, los minerales compuestos a partir de carbonato de calcio y magnesio ante la aplicación de calor forma óxido de cal u óxido de magnesio, que es el producto deseado, liberando en este proceso dióxido de carbono.

Una característica de estos procesos es que la temperatura de reacción debe ser elevada como para lograr la disociación de carbonatos. Para asegurar esta reacción es necesario someter las rocas a temperaturas superiores a 1300 °C y presión atmosférica y determinado tiempo para asegurar la respuesta. Otro factor importante para la formación de cal es liberar el dióxido de carbono que se produce durante la reacción. Obteniendo finalmente después de este proceso la cal viva (Bauzá, 2003).

2.2.4.1. Cal hidratada (cal apagada – hidróxido de calcio)

El polvo seco que se obtiene tratando la cal viva con agua suficiente para satisfacer su

afinidad química e hidratarla. Está compuesto principalmente por hidróxido de calcio $[\text{Ca}(\text{OH})_2]$ o compuesto por una mezcla de hidróxido de calcio, óxido de magnesio (MgO) e hidróxido de magnesio $[\text{Mg}(\text{OH})_2]$. Al igual que la cal viva, la cal hidratada también es el más utilizado como estabilizador. Su principal ventaja es el menor peligro durante el transporte, manipulación y uso. A menos que se desee utilizar menos agua, se utiliza preferentemente en forma de cal hidratada y lechada (NTP 334.125, 2017).

a) Usos y aplicaciones

La cal hidratada se utiliza para:

- Mejorar y estabilizar suelos arcillosos
- Mejorar la resistencia y capacidad de carga del suelo

b) Requisitos mínimos que debe cumplir

La cal hidratada debe cumplir con la Norma Técnica Peruana 334.125 y la Norma ASTM C - 977. Los mismos que se presentan en la siguiente tabla:

Tabla 13: *Requisitos mínimos de la cal hidratada*

Composición química	Und.	Requisito NTP 334.125 / ASTM C-977
Óxido de calcio y magnesio	%	Mín. 90.0
Dióxido de carbono		Máx. 5.0
Humedad libre	%	Máx. 2.0
Propiedades físicas		
% retenido en el tamiz N° 30	%	Máx. 3.0
% retenido en el tamiz N° 200	%	Máx. 25.0

Fuente: Adaptado de NTP 334.125 / ASTM C-977

2.2.5. Cemento Portland

Según Neville y Brooks (2010) el cemento Portland es el nombre utilizado para un

cemento obtenido de la mezcla de materiales calcáreos y arcillas, u otros materiales que contengan sílice, óxido de aluminio y óxido de hierro; quemándolo y moliendo el clinker resultante a temperaturas de clinkerización.

Pasquel (1998) define el cemento Portland como aglutinante hidrófilo producido por la calcinación de calizas, areniscas y calizas, de tal forma que se obtenga un polvo muy fino que cuando se pone en contacto con agua endurece ganando resistencia y adherencia.

Además, MTC (2013) afirma que el cemento hidráulico es el producto obtenido de la trituración del clinker Portland y adición final de yeso natural. El clinker Portland se forma calcinando piedra caliza y arcilla a temperaturas de 1350 a 1450 °C aproximadamente.

2.2.5.1. Cemento Portland Tipo I Co

a) Características

El cemento Portland Tipo I Co, presenta las características que se menciona a continuación:

- Extra resistencia a la compresión a edades iniciales
- Excelente trabajabilidad y plasticidad otorgando buenos acabados

b) Requisitos mínimos que debe cumplir

El cemento Portland Tipo I Co debe cumplir con la Norma Técnica Peruana 334.090 y la Norma ASTM C - 595. Los mismos que se presentan en la siguiente tabla:

Tabla 14: *Requisitos mínimos del cemento Portland Tipo I Co*

Cemento Portland Tipo I Co		
Composición química	Und.	Requisito NTP 334.090 / ASTM C-595
MgO	%	Máx. 6.0
SO ₃	%	Máx. 4.0
Propiedades físicas		
Densidad	g/cm ³	-
Contenido de aire	% Vol	Máx. 12
Finura Blaine	m ² /Kg	-
Expansión en Autoclave	%	Máx 0.80
Tiempo de fraguado		
Fraguado inicial	minutos	Mín. 45
Fraguado final	horas	Máx. 7.0
Resistencia a la compresión		
3 días	Kg/cm ²	Mín. 132
7 días	Kg/cm ³	Mín. 204
28 días	Kg/cm ⁴	Mín. 254

Fuente: Adaptado de NTP 334.090 / ASTM C-595

2.2.6. *Estabilización de suelos:*

Se define al conjunto de procesos o tratamientos que se realizan a los suelos que tienen propiedades bajas en su capacidad de soportar los efectos de tránsito; asimismo con esta estabilización se busca aprovechar las características del suelo para mejorar una vía eficiente (De la Cruz & Salcedo, 2016).

2.2.6.1. **Tipos de estabilización**

A. Estabilización física y mecánica. Este tipo de estabilización se desarrolla mejor para los suelos gruesos como la grava y la arena. Dentro este tipo de estabilización tenemos las siguientes (Pérez, 2014).

- Estabilización por compactación
- Estabilización empleando la mezcla de suelos
- Estabilización por reemplazo
- Estabilización empleando geosintéticos

B. Estabilización química. Esta estabilización consiste en adicionar algún material químico al suelo como cal, cemento, ceniza volante entre otros. El propósito del agente químico es mejorar las propiedades del suelo expuesto a las diferentes condiciones, ya sea climáticas, tales como la temperatura, humedad, velocidad del viento, etc. Además, se tiene que realizar los respectivos ensayos para determinar las propiedades antes y después de aplicar el estabilizador (Pérez, 2014).

2.2.7. Estabilización de Suelos con Cal

La estabilización del suelo cambia significativamente sus propiedades, creando resistencia y estabilidad permanentes a largo plazo, especialmente en lo que respecta a la acción del agua (IECA, 2008).

La cal, sola o en combinación con otros materiales, se puede utilizar para tratar diversos tipos de suelo. La mineralogía del suelo determinará qué tan bien reacciona con la cal y la resistencia final que creará la capa estabilizadora. En general, las arcillas de grano fino (al menos un 25% que pasa el tamiz 200 y un índice de plasticidad superior a 10) se consideran buenos para la estabilización. Los suelos que contienen cantidades significativas de materia orgánica (más del 1%) o sulfatos (más del 0,3%) pueden requerir cal adicional y/o procedimientos de construcción especiales (IECA, 2008).

2.2.8. Estabilización de Suelos con Cemento

El suelo modificado con cemento es un material con una cantidad relativamente

pequeña de cemento Portland, menos de la necesaria para producir suelo de cemento endurecido. El fin del tratamiento es cambiar las propiedades de los materiales con calidad inferior al requerido para hacerlos adecuados para su uso en la construcción (PCA 2017).

Kraemer et al (2009). Demostraron que los suelos mejorados con cemento son a menudo los mismos que los encontrados en el trazado de las carreteras. Esta tecnología consiste principalmente en utilizar suelo con cierta plasticidad para obtener una calzada de calidad suficiente.

González (2019) menciona que la mejora o modificación del cemento se usa generalmente para suelos plásticos de grano fino, cuando la humedad natural es demasiado alta, dificultad en la compactación, mala expansión y baja capacidad de soporte. El aglutinante cambia moderadamente sus propiedades a corto y largo plazo para convertirse en suelo utilizable.

Además, recomienda el uso de suelo modificado con cemento en la subrasante de pavimentos de tráfico ligero y medio debido a su escasa o nula resistencia mecánica. En el caso de un volumen de tráfico intenso, se recomienda instalar una plataforma con mayor fuerza de soporte sobre suelo modificado con cemento.

2.3. Definición de términos básicos

Cemento Portland Tipo I Co

Es un cemento diseñado para ser usado en todo tipo de estructuras por lo general que no requieran requerimientos especiales, se caracteriza por su súper trabajabilidad.

Cal

Oxido de calcio CaO, este producto se obtiene de la calcinación de las rocas (calizas o dolomitas).

CBR

California Bering Ratio (valor de la relación de soporte), indicador de la resistencia potencial a la deformación bajo las cargas de tráfico de la subrasante, subbase y material de base de un pavimento se conoce como el módulo de resiliencia.

Propiedades físicas del suelo

Las propiedades físicas del suelo son aquellas que se relacionan con sus características como la textura, la densidad, la humedad e inclusive el color. Estas propiedades influyen en el comportamiento del suelo, su capacidad de soporte y su uso.

Propiedades mecánicas del suelo

Las propiedades mecánicas del suelo son aquellas que se relacionan con su comportamiento bajo la acción de fuerzas. Estas propiedades influyen en la capacidad del suelo para soportar cargas, su resistencia y su estabilidad.

Subrasante

Se define a la superficie terminada de la carretera a nivel de corte o relleno, donde se apoya el pavimento o afirmado.

Suelo – cal

Mezcla uniforme y homogénea de suelo, cal y agua la cual se compacta con el fin de

mejorar sus propiedades de trabajabilidad o propiedades mecánicas específicas.

Suelo – cemento

Combinación de suelo y cemento, conocida como estabilización con cemento, se utiliza para mejorar las propiedades físico mecánicas del suelo. Esta técnica consiste en añadir cemento al suelo con el objetivo de reducir los cambios volumétricos, incrementar el índice CBR (California Bearing Ratio) o reducir el índice de plasticidad.

CAPÍTULO III: MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Ubicación geográfica de la zona de estudio

La investigación se realizó en la avenida Manuel Noriega, ubicada en el distrito de Baños del Inca, provincia de Cajamarca y departamento de Cajamarca, con coordenadas en un punto inicial de 775196.16 E, 9210361.80 N y una altitud de 2703 msnm y un punto final 775444.19 E, 9210990.88 N y una altitud de 2711 msnm; durante el periodo de julio - agosto del año 2023.

Figura 1: Ubicación referencial de la Avenida Manuel Noriega.



Fuente: Google Maps, 2023.

3.2. Tipo y Diseño de Investigación

3.2.1. Por el Tipo

Esta investigación es de tipo aplicada, ya que tuvo por finalidad resolver un determinado problema, enfocándose en analizar el comportamiento de la combinación de cal y cemento Portland Tipo I Co como aditivo en las propiedades físico – mecánicas del suelo de la Av. Manuel Noriega.

3.2.2. Por el Nivel

Explicativa – correlacional. Porque busca explicar y relacionar el comportamiento de la variable dependiente (índice de plasticidad, índice de CBR) en función a las variables independientes (porcentaje de cal y el cemento portland Tipo I Co).

3.2.3. Por el Diseño

El diseño es experimental, siguiendo los procedimientos establecidos en las Normas Técnicas utilizadas para este trabajo (MTC, AASHTO y ASTM).

3.3. Variables

3.3.1. Clasificación de Variables

3.3.1.1. Variable Independiente

Cal

Cemento Portland Tipo I Co

3.3.1.2. Variable Dependiente

Índice de plasticidad

Índice de CBR

3.4. Población y muestra

3.4.1. Población de estudio

La población lo conforma el suelo de fundación que conforman la subrasante de la Av. Manuel Noriega.

3.4.2. Muestra

La muestra es el suelo obtenido de las calicatas de la Av. Manuel Noriega en estado natural y las muestras con adición de la combinación de 1% de cal y 1% de cemento Portland tipo I Co, 2% de cal y 2% de cemento Portland tipo I Co y 3% de cal y 3% de cemento Portland tipo I Co.

Tabla 15: Muestras de laboratorio a calicatas para clasificación de suelo.

Muestra	C-1	C-2	Parcial
Contenido de humedad	1	1	2
Análisis granulométrico	1	1	2
Gravedad específica	1	1	2
Límite líquido y plástico	5	5	10
Subtotal de muestras			16

Una vez que se identificó la calicata con el suelo más desfavorable, se aplicó el aditivo y se realizó las siguientes muestras.

Tabla 16: Muestras de laboratorio realizados en el suelo más desfavorable.

Muestra	C - 1				Parcial
	% Aditivo.	0%	1%+1%	2%+2%	
Límite líquido y plástico	-	5	5	5	15
Proctor modificado	1	1	1	1	4
CBR	1	1	1	1	4
Subtotal de muestras					23

3.4.3. Unidad de análisis

Comportamiento de la cal y cemento Portland tipo I Co en el índice de plasticidad e índice de CBR del suelo.

3.5. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

3.5.1. Técnica de recolección de datos

Para esta investigación se utilizó la observación directa y medición, porque son métodos frecuentes que ayuda a corroborar las condiciones de la Av. Manuel Noriega.

3.5.2. Instrumentos de recolección de datos

- Formatos para análisis de las propiedades físico mecánicas.
- Norma MTC E 107, 108, 110, 111, 113, 115 y 132.
- Norma ASTM D 2216, 422, 854, 4318, 1557 y 1883

3.5.2.1. Materiales

- Suelo de la subrasante de la Av. Manuel Noriega
- Cal
- Cemento Portland Tipo Co
- Agua

3.5.2.2. Equipos

- Tamices: para análisis granulométrico mediante tamizado por lavado (ASTM D 422).
- Balanzas electrónicas digitales (ASTM D 2216).
- Estufa con control de temperatura (ASTM D 2216).
- Taras de diferentes tamaños (ASTM D 2216).
- Copa de casa grande (ASTM D 4318).
- Bomba de vacío (ASTM D 854).

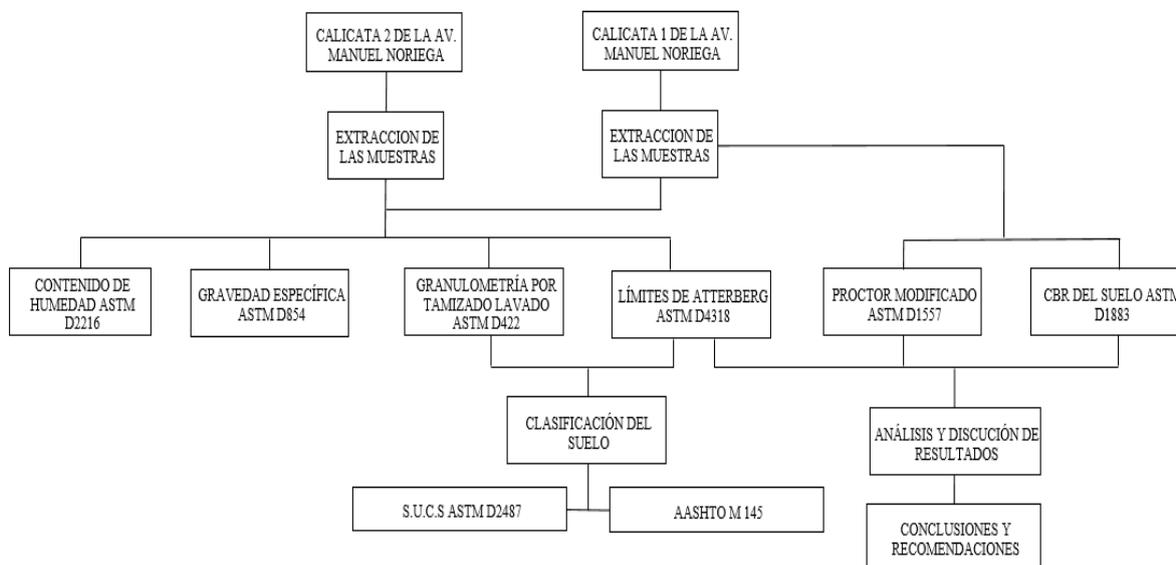
- Moldes de Proctor modificado (ASTM D 1557).
- Martillo de 10 lb (ASTM D 1557).
- Moldes para ensayo CBR (ASTM D 1883).
- Equipo para ensayo CBR (ASTM D 1883).

3.6. Procedimiento

3.6.1. Procedimiento de Recolección de Datos

La investigación inicia con la clasificación de la Av. Manuel Noriega de acuerdo al manual de diseño de carreteras como una carretera de tercera clase, por tal motivo se realizaron calicatas para la extracción de las muestras a lo largo de los 684.42 m; la calicata C1 con coordenadas 775228.12 E, 9210413.29 N, 2704 Z y la calicata C2 con coordenadas 775415.32 E, 9210851.10 N, 2705 Z ambas a una profundidad mínima de 1.50 m para realizar la extracción y transporte de muestras, acorde a la Norma MTC E 104 (conservación y transporte de muestras de suelo) para ser transportadas al laboratorio de suelos. Se preparó las muestras y se realizó los ensayos de acuerdo a las Normas MTC E 105 (obtención en laboratorio de muestras representativas – cuarteo) y MTC E 106 (preparación en seco de las muestras para el análisis granulométrico). Se ensayó el suelo de la calicata C1 para determinar el comportamiento del aditivo en la subrasante de la avenida.

Figura 2: Procedimiento de la investigación.



3.6.2. Ensayos de laboratorio

Los ensayos de suelos que se realizó para esta investigación se detallan en la siguiente tabla:

Tabla 17: Ensayos de laboratorio realizados en la investigación

Ensayo	Norma Técnica
Contenido de Humedad	MTC E 108 - ASTM D 2216
Análisis Granulométrico	MTC E 107 - ASTM D 422
Límites de Atterberg	MTC E 110-111 - ASTM D 4318
Gravedad Específica	MTC E 113 - ASTM D 854
Ensayo de Proctor Modificado	MTC E 115 - ASTM D 1557
Ensayo de CBR	MTC E 132 - ASTM D 1883

- El primer ensayo que se realizó fue el contenido de humedad natural, el mismo que se llevó a cabo inmediatamente después de trasladar las muestras al laboratorio.

- Se continuó con los ensayos de análisis granulométricos, límite líquido y límite plástico para clasificar los suelos obtenidos de ambas calicatas.
- Se clasificó las muestras de suelo utilizando los sistemas AASHTO (AASHTO M 145 – 91) y SUCS (ASTM D 2487 – 11).
- Se seleccionó la muestra de suelo más desfavorable de la calicata 1 y luego se utilizó cal y cemento Portland Tipo I Co como aditivos estabilizantes.
- Una vez seleccionada la muestra se realizó el ensayo de Proctor modificado para el suelo sin aditivos estabilizantes (0%), como también para el suelo con aditivos estabilizantes con porcentajes de la combinación de 1% de cal y 1% de cemento Portland tipo I Co, 2% de cal y 2% de cemento Portland tipo I Co y 3% de cal y 3% de cemento Portland tipo I Co respecto el peso seco de la muestra de suelo.
- Se realizó el ensayo de CBR para suelo sin aditivos estabilizantes (0%), como también para el suelo con aditivos estabilizantes con porcentajes de la combinación de 1% de cal y 1% de cemento Portland tipo I Co, 2% de cal y 2% de cemento Portland tipo I Co y 3% de cal y 3% de cemento Portland tipo I Co respecto el peso seco de la muestra de suelo.
- De manera similar, se realizó los ensayos de límite líquido y límite plástico para el suelo con aditivos estabilizantes con porcentajes de la combinación de 1% de cal y 1% de cemento Portland tipo I Co, 2% de cal y 2% de cemento Portland tipo I Co y 3% de cal y 3% de cemento Portland tipo I Co respecto el peso seco de la muestra de suelo.

CAPÍTULO IV: ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

4.1. Resultados

Tabla 18: Resultado de ensayos de suelo en estado natural

Humedad Natural	C1	C2
Contenido de humedad	17.70%	17.20%
Límites de Atterberg		
Límite líquido	40%	37%
Límite plástico	21%	20%
Índice de plasticidad	19%	18%
Clasificación de suelos		
SUCS	SC	SC
AASHTO	A-2-6 (1)	A-2-6 (0)
Gravedad Específica		
Peso específico (g/cm ³)	2.65	2.65

Tabla 19: Resultado de ensayos de suelo de calicata C1 con adición de la combinación de 1% de cal y 1% de cemento Portland tipo I Co, 2% de cal y 2% de cemento Portland tipo I Co y 3% de cal y 3% de cemento Portland tipo I Co

Ensayos	% de cal y cemento Portland Tipo I Co			
	0%	1%+1%	2%+2%	3%+3%
Límites de Atterberg				
Límite líquido	40%	37%	33%	32%
Límite plástico	21%	24%	25%	25%
Índice de plasticidad	19%	13%	8%	7%
Proctor Modificado				
Dsmáx (gr/cm ³)	1.75	1.75	1.76	1.77
Wop	16.6%	19.7%	21.8%	23.9%
Ensayo CBR				
Dsmáx (gr/cm ³)	1.75	1.75	1.76	1.77
CBR de diseño	7.40%	16.40%	25.40%	48.20%

4.2. Análisis y discusión de resultados

En la calicata C1 según la clasificación de suelos AASHTO se obtiene un suelo A-2-6 (1) el mismo que se obtuvo con ayuda de la Tabla 09 y según SUCS se clasifica en un suelo SC tomando en cuenta las Tablas 10 y 11, considerándose como un suelo areno arcilloso; de igual forma en la calicata C2 según la clasificación AASHTO se obtuvo un suelo A-2-6 (0) y según SUCS un suelo SC.

Límites de Atterberg

Tabla 20: Resumen de los Límites de Atterberg de calicata C1

% Cal y Cemento Portland Tipo I Co	Límite Líquido	Límite Plástico	Índice de Plasticidad	% que disminuye el IP
0%	40%	21%	19%	
1%+1%	37%	24%	13%	31%
2%+2%	33%	25%	8%	59%
3%+3%	32%	25%	7%	65%

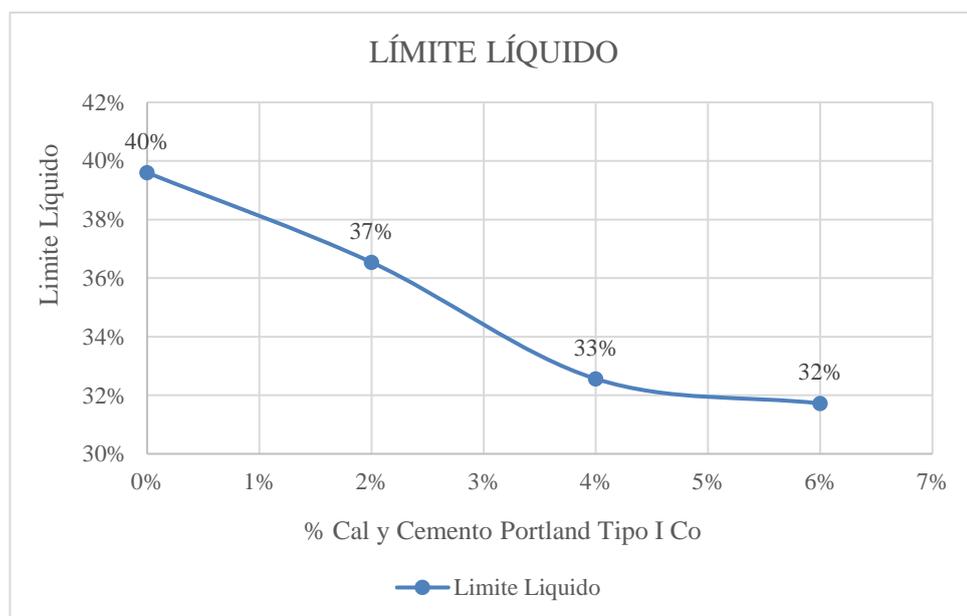


Figura 3: Variación del límite líquido con la añadidura de cal y cemento Portland Tipo I Co.

El límite líquido disminuye en baja proporción, teniendo una variación de 8% entre la muestra patrón y la muestra con adición de la combinación de 3% de cal y 3% de cemento Portland Tipo I Co.

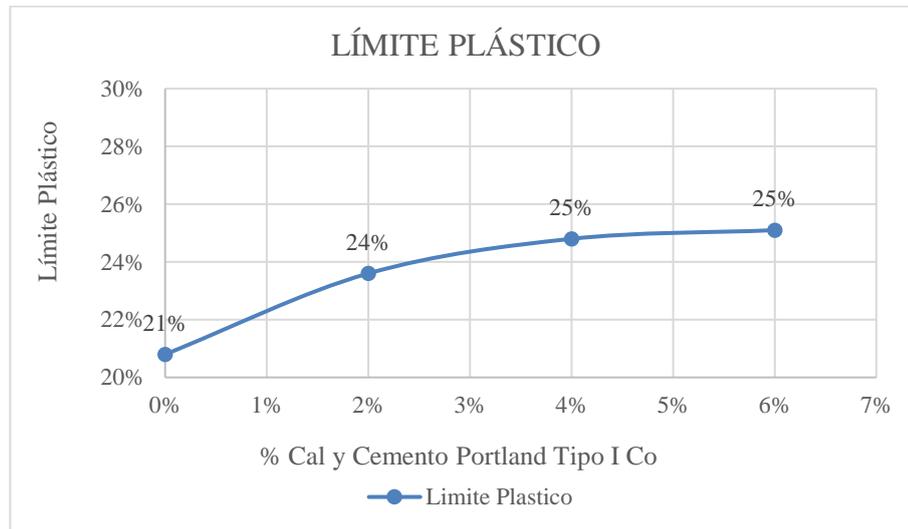


Figura 4: Variación del límite plástico con la adición de cal y cemento Portland Tipo I Co.

El límite plástico se incrementa de un 21% para suelo de la subrasante a un 25% con adición de la combinación de 3% de cal y 3% de cemento Portland Tipo I Co, teniendo un aumento del 4%.

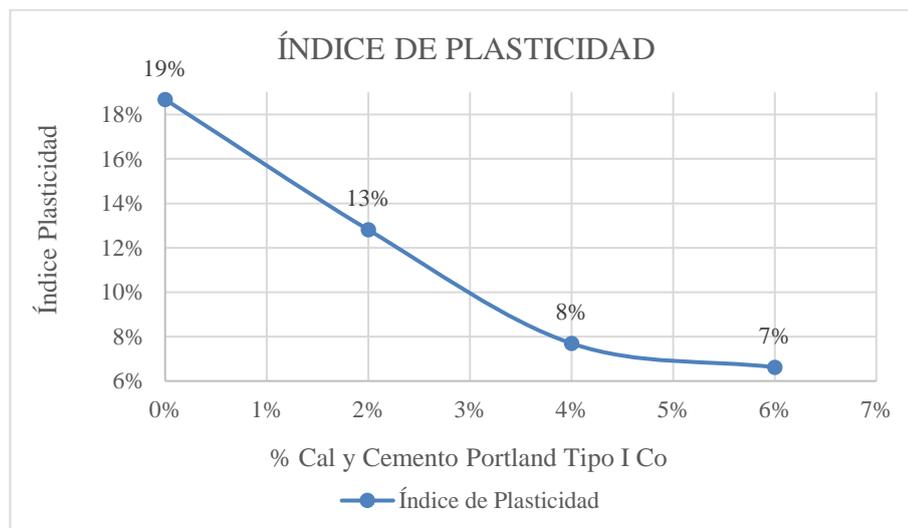


Figura 5: Variación del índice de plasticidad con la adición de cal y cemento Portland Tipo I Co.

Para los ensayos de límites de consistencia, al momento que se realizó la incorporación de cal y también de cemento portland tipo I Co, en general los resultados mostraron un buen comportamiento de acuerdo con el suelo que fue arena arcillosa, observando que en el índice de plasticidad disminuyó respecto de la muestra patrón, ya que el índice de plasticidad de suelo en estado natural fue de 19%, pero debido a la incorporación de la combinación de 3% de cal y 3% de cemento Portland Tipo I Co a la muestra disminuye a un índice de plasticidad de 7%; obteniendo una reducción del 65% con respecto a la muestra patrón, con ello las propiedades del suelo de la subrasante pudieron tener mejoras significativas logrando según la tabla 07 obtener un suelo areno arcilloso de baja plasticidad.

Compactación Proctor modificado y CBR (95% DSM)

Tabla 21: *Resumen de la compactación Proctor modificado y CBR (95% DSM) de calicata C1*

% Cal y Cemento Portland Tipo I Co	Op. Humedad (W%)	Dsmax (gr/cm³)	CBR (95% DSM)	% que varía el CBR
0%	16.6%	1.75	7.40%	
1%+1%	19.7%	1.75	16.40%	221.622%
2%+2%	21.8%	1.76	25.40%	343.24%
3%+3%	23.9%	1.77	48.20%	651.35%

El contenido de humedad aumenta en cada muestra debido a que conforme se adiciona más cal y cemento Portland Tipo I Co se requiere mayor cantidad de agua para que se pueda producir la reacción química y se libere hidróxido de calcio en el caso de la cal y liberar silicatos, aluminatos y ferritos en el caso del cemento. La densidad máxima seca también aumente ya que la cal y el cemento actúan como una matriz sólida que une y reduce el espacio de vacío entre las partículas del suelo, también tienen propiedades de adherencia ayudando a que las partículas se aglutinen y formen una masa más compacta.

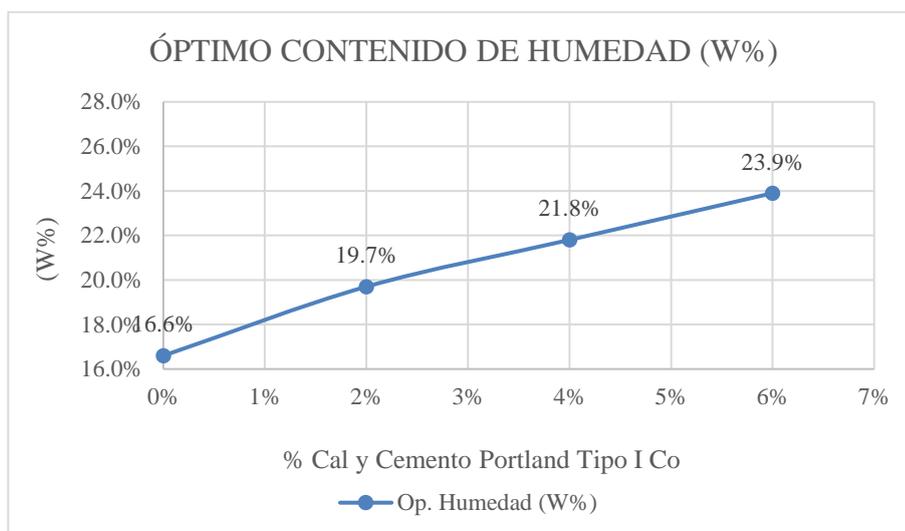


Figura 6: Variación del óptimo contenido de humedad con la añadidura de cal y cemento Portland Tipo I Co.

De acuerdo a la Tabla 21 el óptimo contenido de humedad claramente se puede observar que a mayor adición de cal y cemento Portland Tipo I Co se necesita mayor contenido de agua.

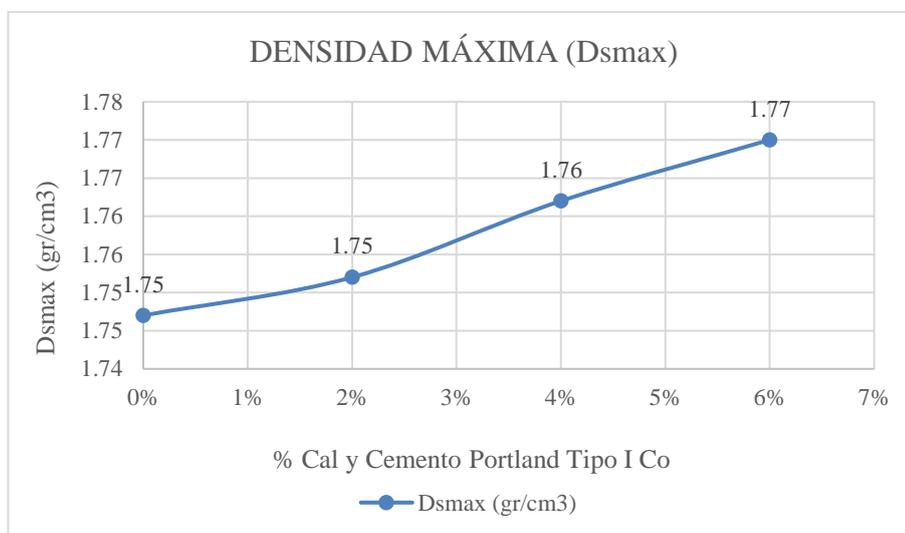


Figura 7: Variación de la densidad máxima con la añadidura de cal y cemento Portland Tipo I Co.

La densidad máxima seca aumenta de 1.75 gr/cm³ del suelo en estado natural a 1.77 gr/cm³ al adicionar la combinación de 3% de cal y 3% cemento Portland Tipo I Co.

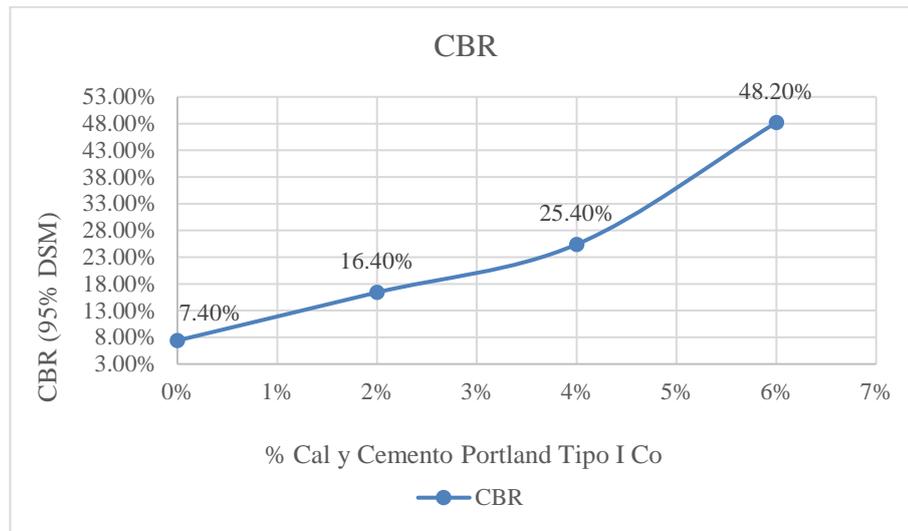


Figura 8: Variación del CBR con la añadidura de cal y cemento Portland Tipo I Co.

El CBR de la muestra de suelo en estado natural fue de 7.40% al 95% DSM el mismo que según la Tabla 12 nombra como una subrasante regular ($6\% \leq \text{CBR} < 10\%$). De acuerdo a la misma tabla para el suelo con una adición de la combinación de 1% de cal y 1% de cemento Portland Tipo I Co se obtuvo un CBR de 16.40% al 95% DSM calificando como una subrasante buena ($10\% \leq \text{CBR} < 20\%$). De igual forma para el suelo con adición de la combinación de 2% de cal y 2% de cemento Portland Tipo I Co alcanzando un CBR de 25.40% al al 95% DMS considerándolo como una subrasante muy buena ($20\% \leq \text{CBR} < 30\%$). Finalmente se analiza el suelo con una adición de la combinación de 3% de cal y 3% de cemento Portland Tipo I Co el cual dio como resultado un CBR de 48.20% al 95% DMS logrando tener de esta manera una subrasante excelente ($30\% \leq \text{CBR}$).

El CBR de diseño muestra un buen comportamiento en los resultados de acuerdo con el suelo areno arcilloso, observando un aumento del CBR respecto a la muestra patrón, ya que el CBR de suelo en estado natural fue de 7.40%, y una vez incorporado la combinación de 3% de cal y 3% de cemento a la muestra, el CBR es de 48.20%; teniendo un aumento del 651.35% con respecto a la muestra patrón. Esto se debe a que la cal y el cemento actúan como una matriz

sólida que une las partículas del suelo creando una masa compacta y uniforme con una fuerza de atracción entre ellas, lo que las ayuda a mantenerse juntas; esta matriz ayuda a rellenar los espacios vacíos entre las partículas, haciendo que la masa sea más sólida y dificulte la penetración de una carga.

CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

- La influencia de la cal y el cemento portland tipo I Co, en el mejoramiento de la subrasante de la Av. Manuel Noriega, se evidencia la reducción de su índice de plasticidad en un 65% y el aumento del CBR en un 651.35%.
- El suelo más desfavorable que conforma la subrasante de la Av. Manuel Noriega se encuentra en la calicata C1, el mismo que luego se clasifica según AASHTO como un suelo A-2-6 (1) y según SUCS como un suelo SC.
- El índice de plasticidad disminuye a un porcentaje de 7% una vez adicionado la combinación de 3% de cal y 3% de cemento portland tipo I Co teniendo un índice de plasticidad inicial de 19% para suelo en estado natural; obteniendo un suelo de baja plasticidad.
- El CBR de diseño al 95% mínimo es de 7.40% para suelo en estado natural. El CBR de diseño máximo se logra al adicionar la combinación de 3% de cal y 3% de cemento Portland tipo I Co con un valor de 48.20%, logrando obtener un suelo para subrasante excelente.

5.2. Recomendaciones

- Se recomienda realizar investigaciones con adiciones mayores a 4% de cal y 4% de cemento Portland.
- Realizar investigaciones para determinar el comportamiento de cal y cemento portland tipo I Co para otros tipos de suelo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AASHTO (American Association of State Highway and Transportation Officials). 2004. *Classification of Soils and Soil – Aggregate Mixtures for Highway Construction Purposes*. USA
- Altamirano Navarro, G. J., & Díaz Sandino, A. E. (2015). *Estabilización de suelos cohesivos por medio de cal en las vías de la comunidad de San Isidro del Pegón, municipio Potosí-Rivas*. Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua.
- Bauzá Castelló, D. (2003). *Estabilización de suelos con cal*. Madrid, España.
- Bañón, L., & Beviá, J. F. (2000). *Manual de carreteras Vol.2*.
- Crespo Villalaz, C. (2004). *Mecánica de Suelos y Cimentaciones*. 5 ed. Ciudad de México, México, Limusa.
- De la Cruz, L. M., & Salcedo, K. K. (2016). *Estabilización de suelos cohesivos por medio de aditivos (Eco Road 2000) para pavimentación en Palian – Huancayo - Junin*.
- Elizondo Arrieta, F., Navas Carro, A., & Sibaja Obando, D. (2017). *Efecto de la cal en la estabilización de subrasantes*. Ingeniería 20, 2, 93-108.
- Flores Vasquez, J. L. (2022). *La situación de las carreteras en Perú*. Lima, Perú
- Góngora Velásquez, C. K. (2019). *Influencia de la cal y el cemento portland tipo I en la subrasante de la trocha del distrito de Chillia, provincia de Pataz, 2019*. Universidad Privada del Norte.
- González, R. A. (2019) *Estado del arte del suelo cemento*. Instituto de Cemento y Concreto, El Salvador.
- Hernández Sampieri, R, Fernández Collado, C & Baptista Lucio, P. (2014). *Metodología de*

la investigación. México.

IECA (Instituto Español del Cemento y sus Aplicaciones). (2008). *Manual de Estabilización de suelos con Cemento o Cal*. Madrid, España.

Kraemer, C; Pardillo, JM; Rocci, S; Romana, MG; Sánchez Blanco, V; del Val, MA. (2009). *Ingeniería de Carreteras*. Madrid, España.

MEF (Ministerio de Economía y Finanzas, Perú). (2015). *Pautas Metodológicas para el Desarrollo de Alternativas de Pavimentos en la Formulación y Evaluación Social de Proyectos de Inversión Pública de Carreteras*. Lima, Perú. feb. 2015.

MTC (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, Perú). (2013). *Manual de Carreteras: Especificaciones Técnicas Generales para Construcción – EG 2013*. Lima, Perú, MTC. Jun. 2013.

MTC (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, Perú). (2014). *Manual de Carreteras: Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos. Sección Suelos y Pavimentos*. R.D. No. 10 – 2014 – MTC/14. Lima, Perú, MTC. abr. 2014.

MTC (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, Perú). (2016). *Manual de Ensayo de Materiales*. Lima, Perú, MTC. may. 2016.

Muñoz Torres, J. G. (2021). *Influencia de la cal y cemento tipo I en las propiedades de la subrasante en la Avenida Toribio Luzuriaga, Paramonga 2021*. Universidad César Vallejo.

Neville, AM; Brooks, JJ. (2010). *Concrete Technology*. 2 ed. Malaysia, Prentice Hall.

NTP (Norma Técnica Peruana). (2017). *Cales, cal vida y cal hidratada para estabilización de suelos, requisitos NTP 334.125:2017*. Lima: 2 a ed. INACAL.

- Pasquel Carbajal, E. (1998). *Tópicos de Tecnología del Concreto en el Perú*. 2 ed. Lima, Perú, Colegio de Ingenieros del Perú.
- PCA (Portland Cement Association, Estados Unidos de América). (2017). *Soil – Cement* (en línea, sitio web). Consultado 16 ago. 2023. Disponible en <http://www.cement.org/cement-concrete-applications/paving/soil-cement>
- Pérez, C. A. (2014). *Estabilización de suelos arcillosos con cenizas de carbón para su uso como subrasante mejorada*. Lima.
- Portugal Monica, B. (2022). *Propiedades de la rasante y subrasante*. Aleph.
- Quintanilla Rodríguez, C. (2007). *El Estado del Arte del Suelocemento en Estructuras de Pavimentos*. Bogotá, Colombia.
- Ramos, G. P. (2014). *Mejoramiento de subrasantes de baja capacidad portante mediante el uso de polimeros reciclados en carreteras, Paucará - Huancavelica 2014*. Huancayo.
- Velásquez Pereyra, C. (2018). *Influencia del cemento portland tipo I en la estabilización del suelo arcilloso de la subrasante de la Avenida Dinamarca, sector la Molina*. Universidad Nacional de Cajamarca.

ANEXOS

ANEXO 1: PANEL FOTOGRÁFICO



Figura 9: Excavación de calicata para extracción de la muestra de suelo.



Figura 10: Pesado de la muestra en estado natural.

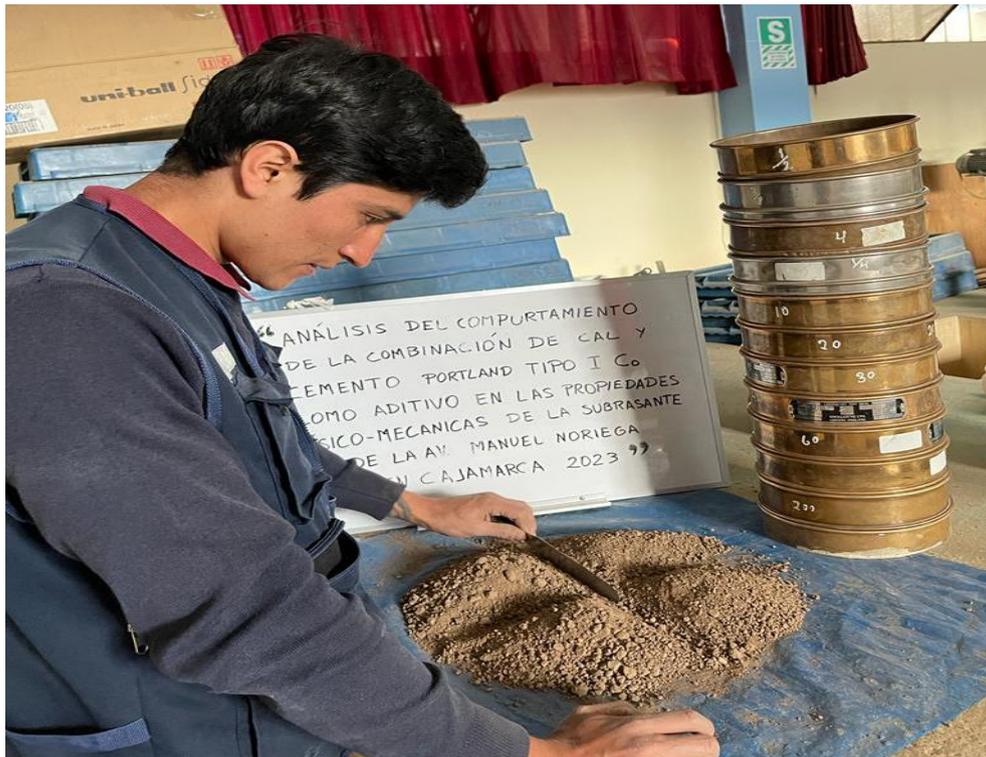


Figura 11: División del material en 4 partes iguales (cuarteo).



Figura 12: Ensayo de tamizado por lavado.



Figura 13: *Tamizado de la muestra seca en la malla N° 40.*



Figura 14: *Preparación de muestras para el ensayo de limite plástico.*



Figura 15: Cal y Cemento Portland tipo I Co utilizado como aditivo.



Figura 16: Ejecución de ensayo proctor modificado.



Figura 17: Mezcla de suelo, cal, cemento portland tipo I Co y agua para ensayo de proctor modificado.



Figura 18: Ensayo de gravedad específica asesorado por el Ing. Lucio Sifuentes Inostrosa.



Figura 19: *Pesado de cal y cemento para ensayo de CBR.*



Figura 20: *Compactación de la muestra para ensayo de CBR.*



Figura 21: *Medida del hinchamiento con ayuda del deformímetro para ensayo de CBR.*



Figura 22: *Carga penetración para ensayo de CBR.*

ANEXO 2: TABLAS DE PRESENTACIÓN DE DATOS

Tabla 22: Ensayo de contenido de humedad de la muestra en estado natural de calicata C1

CONTENIDO DE HUMEDAD NATURAL (ASTM D 2216, MTC E 108)		
UBICACIÓN : CAJAMARCA - CAJAMARCA - BAÑOS DEL INCA		
I. Datos Generales		
PROCEDENCIA : AV. MANUEL NORIEGA	TAMAÑO MÁXIMO : 3/8"	
CALICATA : N° 01 E: 775228.12 - N: 9210413.29 - Z: 2704	LADO : IZQUIERDO	
MATERIAL : ARENA ARCILLOSA		
PROFUND. (m) : 1.5		
DATOS DE LA MUESTRA		
N° DE ENSAYOS	1	2
N° Tara	T-1	T-2
Peso Tara + Suelo Húmedo (gr.)	1000.0	1280.0
Peso Tara + Suelo Seco (gr.)	865.0	1100.0
Peso Tara (gr.)	105.0	85.0
Peso Agua (gr.)	135.0	180.0
Peso Suelo Seco (gr.)	760.0	1015.0
Contenido de Humedad (gr.)	17.8	17.7
Promedio (%)	17.7	

Tabla 23: Ensayo de Límites de Atterberg de la muestra en estado natural de calicata C1

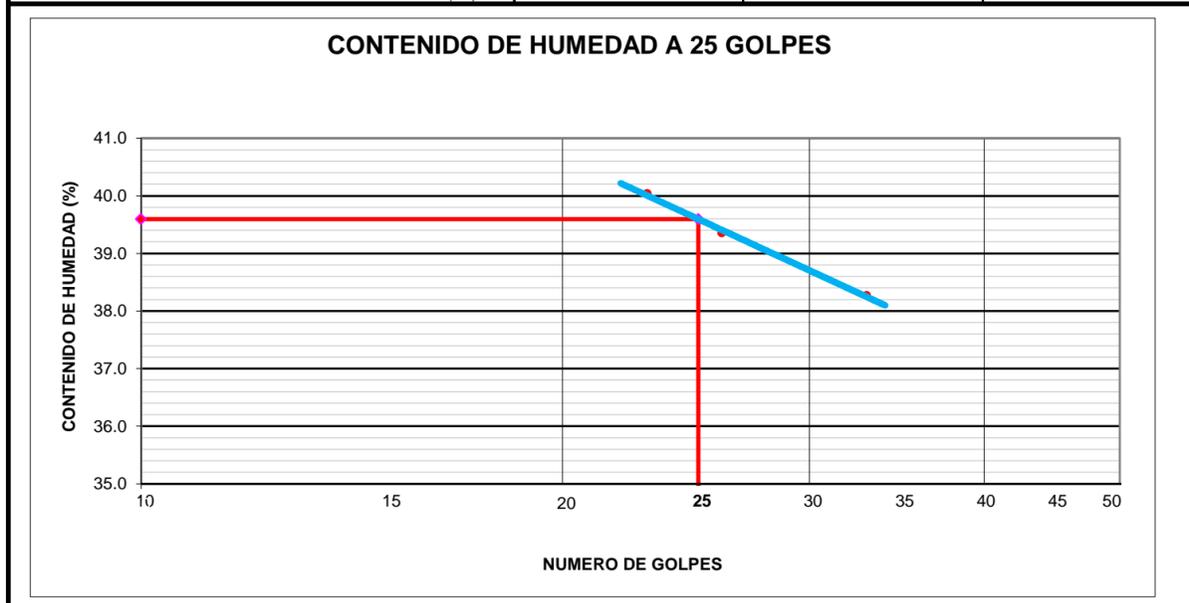
LIMITES DE CONSISTENCIA - PASA MALLA N° 40 (ASTM D4318 , MTC E-110)
UBICACIÓN : CAJAMARCA - CAJAMARCA - BAÑOS DEL INCA

I. Datos Generales

PROCEDENCIA : AV. MANUEL NORIEGA	TAMAÑO MÁXIMO : 3/8"
CALICATA : N° 01 E: 775228.12 - N: 9210413.29 - Z: 2704	LADO : IZQUIERDO
MATERIAL : ARENA ARCILLOSA	
PROFUND. : 1.5	

LIMITE LIQUIDO (MTC E 110)				
Nº TARRO		T-6	T-7	T-8
PESO TARRO + SUELO HÚMEDO	(g)	51.94	53.46	57.93
PESO TARRO + SUELO SECO	(g)	49.73	51.52	55.73
PESO DE AGUA	(g)	2.21	1.94	2.20
PESO DEL TARRO	(g)	44.21	46.59	49.98
PESO DEL SUELO SECO	(g)	5.52	4.93	5.75
CONTENIDO DE HUMEDAD	(%)	40.04	39.35	38.26
NUMERO DE GOLPES		23	26	33

LIMITE PLÁSTICO (MTC E 111)				
Nº TARRO		T-2	T-3	
PESO TARRO + SUELO HÚMEDO	(g)	39.13	38.15	
PESO TARRO + SUELO SECO	(g)	37.38	36.60	
PESO DE AGUA	(g)	1.75	1.55	
PESO DEL TARRO	(g)	29.02	29.09	
PESO DEL SUELO SECO	(g)	8.4	7.5	
CONTENIDO DE HUMEDAD	(%)	20.9	20.6	



CONSTANTES FÍSICAS DE LA MUESTRA	
LIMITE LIQUIDO	40
LIMITE PLÁSTICO	21
ÍNDICE DE PLASTICIDAD	19

Tabla 24: Ensayo de Análisis Granulométrico de la muestra en estado natural de calicata C1

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO (ASTM D422 - MTC E107 - MTC E204 - ASTM C136)
UBICACIÓN : CAJAMARCA - CAJAMARCA - BAÑOS DEL INCA

I. Datos Generales

PROCEDENCIA: AV. MANUEL NORIEGA	TAMAÑO MÁXIMO : 3/8"
CALICATA : Nº 01 E: 775228.12 - N: 9210413.29 - Z: 2704	LADO : IZQUIERDO
MATERIAL : ARENA ARCILLOSA	
PROFUND. (m): 1.50	

DATOS DE LA MUESTRA

Tamiz ASTM	Abertura (mm.)	Peso Retenido	E: 192197 - N: 8417164 - Z: 3751		Porcentaje que Pasa	Espec. Técnica	Descripción de la Muestra
			Parcial	Acumulado			
4"	101.600						
3 1/2"	88.900						
3"	76.200						CARACTERÍSTICAS
2 1/2"	63.500						% Grava = 6.2 %
2"	50.800						% Arena = 71.6 %
1 1/2"	38.100						% Fino Nº200 = 22.2 %
1"	25.400						CLASIFICACIÓN
3/4"	19.050						CLASIFICACIÓN AASHTO : A-2-6 (1)
1/2"	12.700				100.0		CLASIFICACIÓN SUCS : SC
3/8"	9.525	3.4	0.7	0.7	99.3		
1/4"	6.350	12.5	2.5	3.2	96.8		
No. 4	4.760	15.0	3.0	6.2	93.8		
No. 10	2.000	114.6	22.9	29.1	70.9		
No. 20	0.834	123.4	24.7	53.8	46.2		
No. 40	0.420	74.7	14.9	68.7	31.3		PESO DEL MATERIAL
No. 60	0.250	17.8	3.6	72.3	27.7		Peso Inicial (gr) : 500.0
No. 100	0.149	12.1	2.4	74.7	25.3		Peso Fracción Fino (gr) :
No. 200	0.075	15.6	3.1	77.8	22.2		
-200				100.0			

CURVA GRANULOMÉTRICA

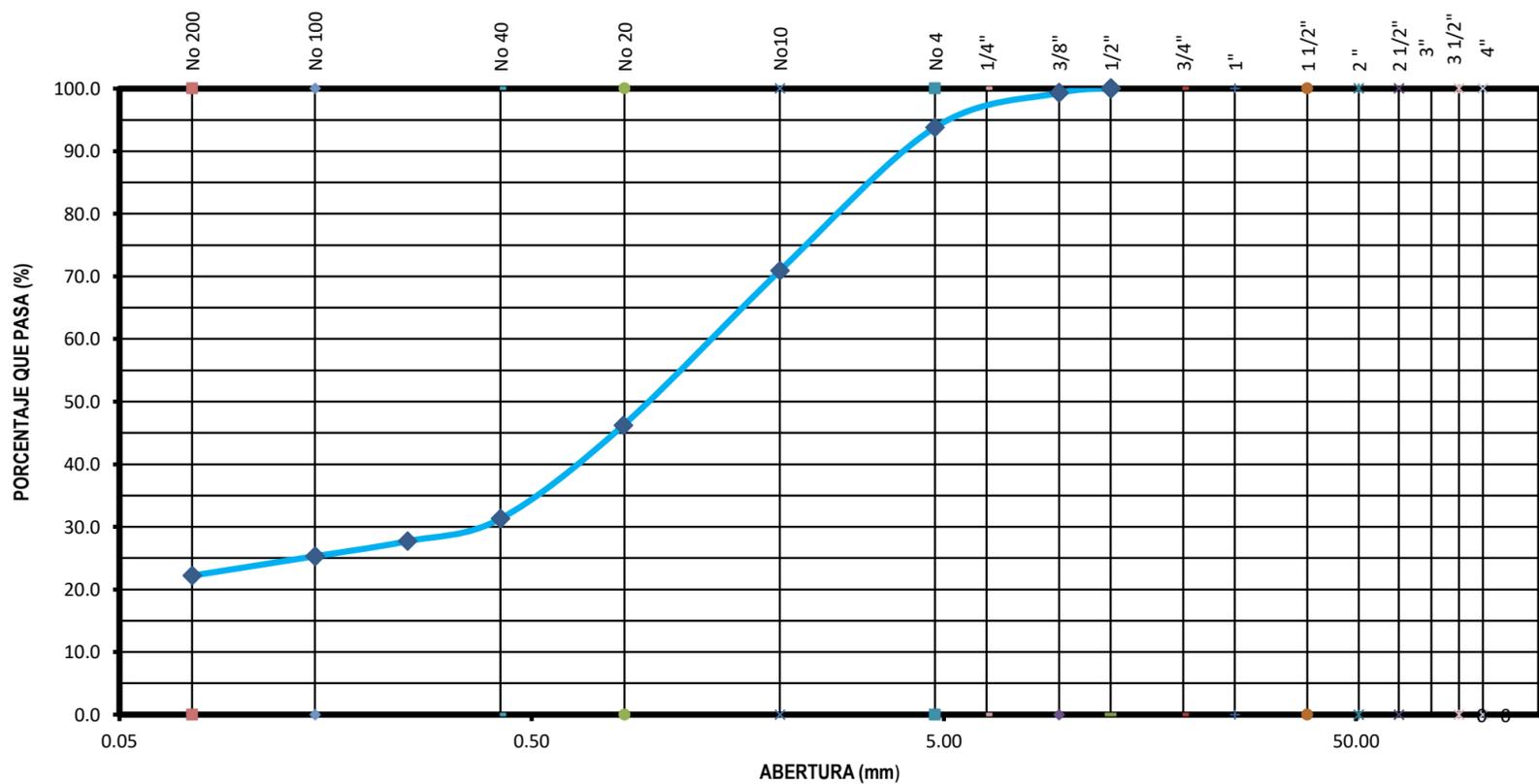


Tabla 25: Ensayo de Gravedad Específica de la muestra en estado natural de calicata CI

GRAVEDAD ESPECÍFICA (NTP 339 131 / ASTM D854 / MTC E 113)
UBICACIÓN : CAJAMARCA - CAJAMARCA - BAÑOS DEL INCA

I. Datos Generales

PROCEDENCIA : AV. MANUEL NORIEGA	TAMAÑO MÁXIMO : 3/8"
CALICATA : Nº 01 E: 775228.12 - N: 9210413.29 - Z: 2704	LADO : IZQUIERDO
MATERIAL : ARENA ARCILLOSA	
PROFUND. (m) : 1.5	

DATOS DE LA MUESTRA				
Muestra	Nº	01	02	03
Temperatura De Mezcla	°C	20	22	21
Densidad Del Agua	(g/cm ³)	0.99821	0.99821	0.99821
Factor De Corrección	(k)	1	1	1
Picnómetro	Nº	25	25	25
Volumen Del Picnómetro	(ml)	500	500	500
Peso Del Picnómetro	(g)	156.9	156.9	156.9
Peso Del Picnómetro+Suelo+Agua	(g)	966.89	969.16	967.34
Numero De Recipiente De Traspaso	Nº	21	21	21
Peso De Recipiente De Traspaso	(g)	121.32	118.24	127.73
Peso De Recipiente De Traspaso + Suelo Seco	(g)	621.47	619.78	627.93
Peso De Suelo Seco	(g)	500.15	501.54	500.2
Masa Picnómetro lleno de agua a temperatura de ensayo (Mpw,t)	(g)	656.005	656.005	656.005
GRAVEDAD ESPECÍFICA :	(g/cm³)	2.643	2.662	2.648
RESULTADOS				
GRAVEDAD ESPECÍFICA PROMEDIO :		2.65		

Tabla 26: Ensayo de Proctor Modificado de la muestra en estado natural de calicata C1

RELACIÓN DENSIDAD/HUMEDAD (PROCTOR MODIFICADO) (MTC E-115 / ASTM D-1557 / AASHTO T-180)
UBICACIÓN : CAJAMARCA - CAJAMARCA - BAÑOS DEL INCA

I. Datos Generales

PROCEDENCIA : AV. MANUEL NORIEGA	TAMAÑO MÁXIMO: 3/8"
CALICATA : Nº 01 E: 775228.12 - N: 9210413.29 - Z: 2704	LADO: IZQUIERDO
MATERIAL : ARENA ARCILLOSA	
PROFUND : 1.5	

DATOS DE LA MUESTRA							
Molde Nº 1	Diámetro Molde Método	4"	Volumen Molde	937	m3.	Nº de capas	
		C	Peso Molde	3935	gr.	Nº de golpes	
						5	
						25	
NUMERO DE ENSAYOS			1	2	3	4	5
Peso Suelo + Molde	gr.		5,665	5,759	5,846	5,866	5,839
Peso Suelo Húmedo Compactado	gr.		1,730	1,824	1,911	1,931	1,904
Peso Volumétrico Húmedo	gr.		1,846	1,947	2,039	2,061	2,032
Recipiente Numero			C7	C12	C5	C9	C11
Peso Suelo Húmedo + Tara	gr.		458.4	463.4	483.5	451.4	483.2
Peso Suelo Seco + Tara	gr.		421.2	419.2	426.7	392.1	410.1
Peso de la Tara	gr.		87.3	88.5	87.2	87.7	87.3
Peso del agua	gr.		37.2	44.2	56.8	59.3	73.1
Peso del Suelo Seco	gr.		334	331	340	304	323
Contenido de agua	%		11.1	13.4	16.7	19.5	22.6
Densidad Seca del Suelo	gr/cc		1.661	1.717	1.747	1.725	1.657

RESULTADOS			
Densidad Máxima Seca	1.747	(gr/cm3)	Humedad óptima
			16.6 %

RELACIÓN HUMEDAD - DENSIDAD SECA

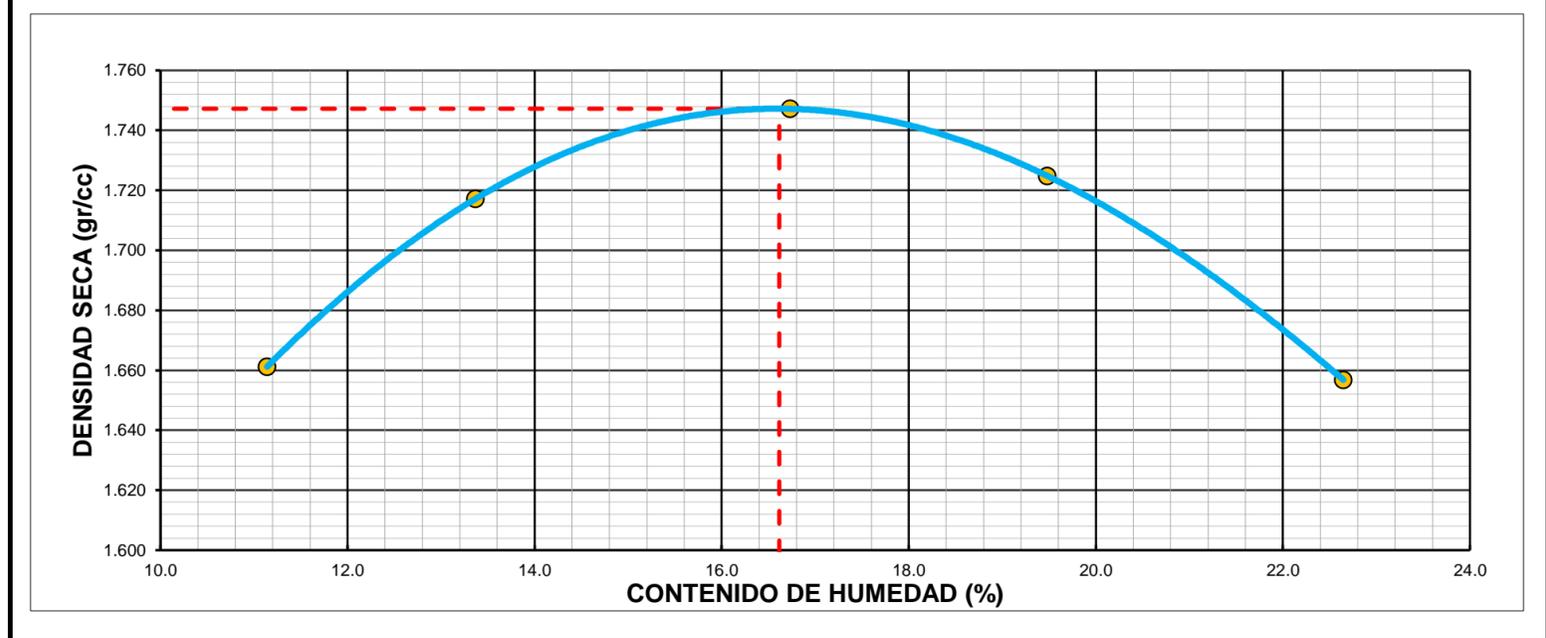


Tabla 27: Ensayo de CBR de la muestra en estado natural de calicata CI

RELACIÓN DE CAPACIDAD DE SOPORTE, CBR (MTC E - 132/ASTM D - 1883)
UBICACIÓN : CAJAMARCA - CAJAMARCA - BAÑOS DEL INCA

I. Datos Generales

PROCEDENCIA : AV. MANUEL NORIEGA	TAMAÑO MÁXIMO : 3/8"
CALICATA : Nº 01 E: 775228.12 - N: 9210413.29 - Z: 2704	LADO : IZQUIERDO
MATERIAL : ARENA ARCILLOSA	
PROFUND : 1.5	

DATOS DE LA MUESTRA														
CALCULO DEL CBR														
Molde Nº	6			5			4							
Capas Nº	5			5			5							
Golpes por capa Nº	12			25			56							
Condición de la muestra	NO SATURADO		SATURADO		NO SATURADO		SATURADO		NO SATURADO		SATURADO			
Peso de molde + Suelo húmedo (g)	11656.0		11945.0		11850.0		12070.0		12440.0		12575.0			
Peso de molde (g)	7785.0		7785.0		7685.0		7685.0		8055.0		8055.0			
Peso del suelo húmedo (g)	3871.0		4160.0		4165.0		4385.0		4385.0		4520.0			
Volumen del molde (cm ³)	2120.0		2120.0		2116.0		2116.0		2128.0		2128.0			
Densidad húmeda (g/cm ³)	1.826		1.962		1.968		2.072		2.061		2.124			
Tara (Nº)	C11		C4		C5		C9		C1		C3			
Peso suelo húmedo + tara (g)	451.0		456.7		485.1		496.3		423.1		481.4			
Peso suelo seco + tara (g)	401.8		385.0		430.0		422.0		377.0		419.2			
Peso de tara (g)	95.5		87.3		87.7		87.3		88.4		93.2			
Peso de agua (g)	49.2		71.7		55.1		74.3		46.1		62.2			
Peso de suelo seco (g)	306.3		297.7		342.3		334.7		288.6		326.0			
Contenido de humedad (%)	16.1		24.1		16.1		22.2		16.0		19.1			
Densidad seca (g/cm ³)	1.573		1.581		1.695		1.696		1.777		1.784			
EXPANSIÓN														
FECHA	HORA	TIEMPO	DIAL	EXPANSIÓN		DIAL	EXPANSIÓN		DIAL	EXPANSIÓN				
				mm	%		mm	%		mm	%			
16/08/23	17:30	0	0	0.000	0.000	0	0.000	0.000	0	0.000	0.000			
17/08/23	17:30	24	20	1.800	1.565	30	1.600	1.391	45	1.400	1.217			
18/08/23	17:30	48	18	2.180	1.896	32	1.850	1.609	53	1.610	1.400			
19/08/23	17:30	72	18	2.300	2.000	32	1.900	1.652	55	1.700	1.478			
20/08/23	17:30	96	18	2.350	2.043	32	1.950	1.696	55	1.720	1.496			
PENETRACIÓN														
PENETRACIÓN		CARGA	MOLDE Nº		M-06		MOLDE Nº		M-05		MOLDE Nº		M-04	
		STAND.	CARGA		CORRECCIÓN		CARGA		CORRECCIÓN		CARGA		CORRECCIÓN	
mm	pulg.	kg/cm2	Dial (div)	kg	kg	%	Dial (div)	kg	kg	%	Dial (div)	kg	kg	%
0.000	0.000		0.00	0			0.00	0			0.00	0		
0.635	0.025		38.20	2.4			64.40	3.8			76.30	4.4		
1.270	0.050		46.40	2.8			84.40	4.8			106.00	5.9		
1.905	0.075		52.10	3.1			98.30	5.5			132.20	7.3		
2.540	0.100	70.31	55.90	3.3	-	4.7	107.60	6.0	-	8.6	152.60	8.4	-	11.9
3.810	0.150		62.50	3.7			122.30	6.8			177.60	9.7		
5.080	0.200	105.46	69.00	4.0	-	3.8	139.60	7.7	-	7.3	205.60	11.1	-	10.5
6.350	0.250		73.10	4.2			149.10	8.2			226.80	12.2		
7.620	0.300		77.30	4.4			159.80	8.7			241.90	13.0		
10.160	0.400		84.50	4.8			177.40	9.7			280.20	15.0		
12.700	0.500		90.40	5.1			191.80	10.4			309.00	16.5		

Figura 23: Gráficas de relación de capacidad de soporte CBR de la muestra de suelo en estado natural de calicata C1

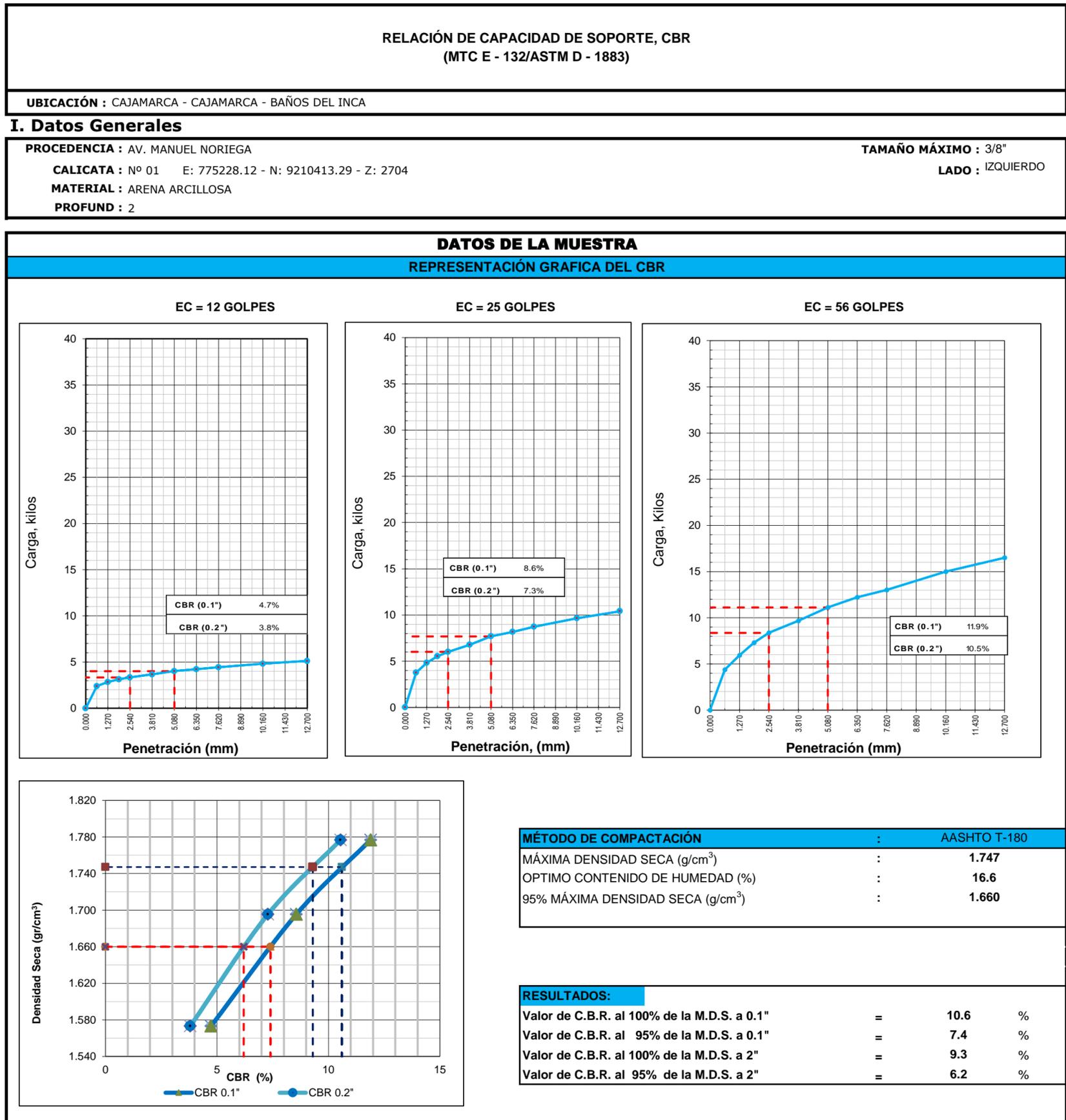


Tabla 28: Ensayo de Límites de Atterberg de la muestra con adición de la combinación de 1% de cal y 1% de cemento portland tipo I Co

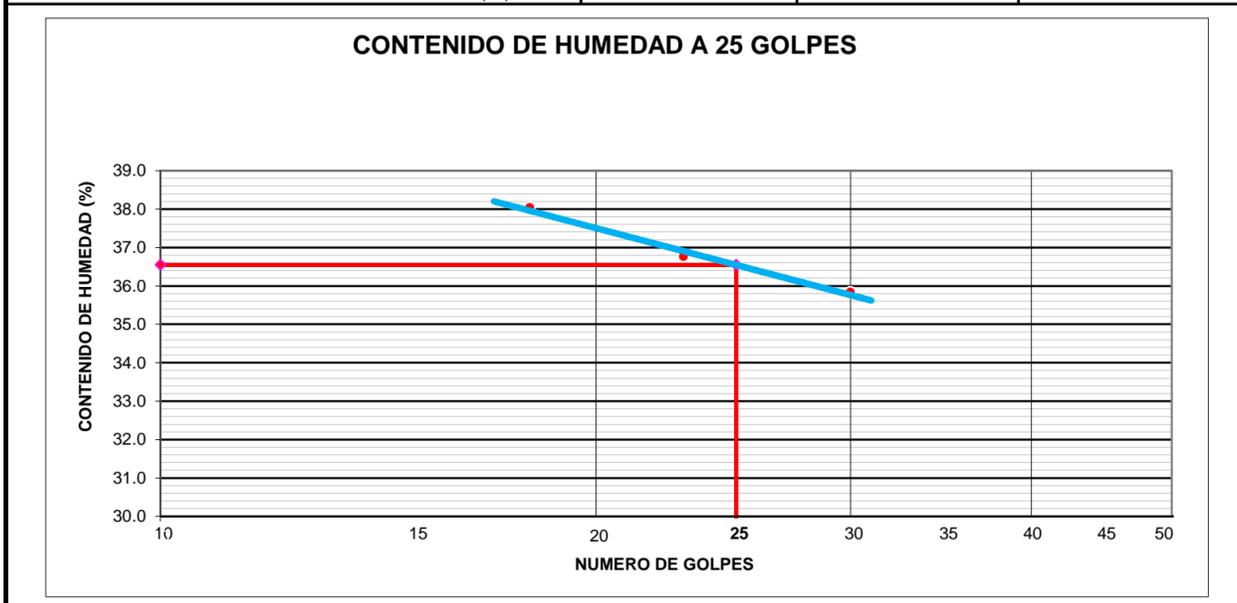
LIMITES DE CONSISTENCIA - PASA MALLA N° 40 (ASTM D4318 , MTC E-110)
UBICACIÓN : CAJAMARCA - CAJAMARCA - BAÑOS DEL INCA

I. Datos Generales

PROCEDENCIA : AV. MANUEL NORIEGA	TAMAÑO MÁXIMO: 3/8"
CALICATA : N° 01 E: 775228.12 - N: 9210413.29 - Z: 2704	LADO: IZQUIERDO
MATERIAL : ARENA ARCILLOSA	
PROFUND. : 1.5	

LIMITE LIQUIDO (MTC E 110)				
Nº TARRO		T-6	T-7	T-8
PESO TARRO + SUELO HÚMEDO	(g)	55.49	60.26	25.97
PESO TARRO + SUELO SECO	(g)	53.36	58.18	23.82
PESO DE AGUA	(g)	2.13	2.08	2.15
PESO DEL TARRO	(g)	47.76	52.52	17.82
PESO DEL SUELO SECO	(g)	5.60	5.66	6.00
CONTENIDO DE HUMEDAD	(%)	38.04	36.75	35.83
NUMERO DE GOLPES		18	23	30

LIMITE PLÁSTICO (MTC E 111)				
Nº TARRO		T-2	T-3	
PESO TARRO + SUELO HÚMEDO	(g)	43.04	37.20	
PESO TARRO + SUELO SECO	(g)	41.38	35.66	
PESO DE AGUA	(g)	1.66	1.54	
PESO DEL TARRO	(g)	34.44	29.02	
PESO DEL SUELO SECO	(g)	6.9	6.6	
CONTENIDO DE HUMEDAD	(%)	23.9	23.2	



CONSTANTES FÍSICAS DE LA MUESTRA	
LIMITE LIQUIDO	37
LIMITE PLÁSTICO	24
ÍNDICE DE PLASTICIDAD	13

Tabla 29: Ensayo de Proctor Modificado de la muestra con adición de la combinación de 1% de cal y 1% de cemento portland tipo I Co

RELACIÓN DENSIDAD/HUMEDAD (PROCTOR MODIFICADO) (MTC E-115 / ASTM D-1557 / AASHTO T-180)
UBICACIÓN : CAJAMARCA - CAJAMARCA - BAÑOS DEL INCA

I. Datos Generales

PROCEDENCIA : AV. MANUEL NORIEGA	TAMAÑO MÁXIMO: 3/8"
CALICATA : Nº 01 E: 775228.12 - N: 9210413.29 - Z: 2704	LADO: IZQUIERDO
MATERIAL : ARENA ARCILLOSA	
PROFUND : 1.5	

DATOS DE LA MUESTRA							
Molde Nº 1	Diámetro Molde Método	4"	Volumen Molde	937	m3.	Nº de capas	5
		C	Peso Molde	3935	gr.	Nº de golpes	25

NUMERO DE ENSAYOS		1	2	3	4	5
Peso Suelo + Molde	gr.	5,689	5,768	5,897	5,891	5,862
Peso Suelo Húmedo Compactado	gr.	1,754	1,833	1,962	1,956	1,927
Peso Volumétrico Húmedo	gr.	1.872	1.956	2.094	2.088	2.057
Recipiente Numero		C6	C10	C7	C13	C15
Peso Suelo Húmedo + Tara	gr.	458.9	463.9	443.6	421.3	497.1
Peso Suelo Seco + Tara	gr.	413.4	417.8	385.6	359.2	417.2
Peso de la Tara	gr.	91.6	125.2	88.5	88.6	95.4
Peso del agua	gr.	45.5	46.1	58.0	62.1	79.9
Peso del Suelo Seco	gr.	322	293	297	271	322
Contenido de agua	%	14.1	15.8	19.5	22.9	24.8
Densidad Seca del Suelo	gr/cc	1.640	1.690	1.752	1.698	1.648

RESULTADOS					
Densidad Máxima Seca	1.752	(gr/cm3)	Humedad óptima	19.7	%

RELACIÓN HUMEDAD - DENSIDAD SECA

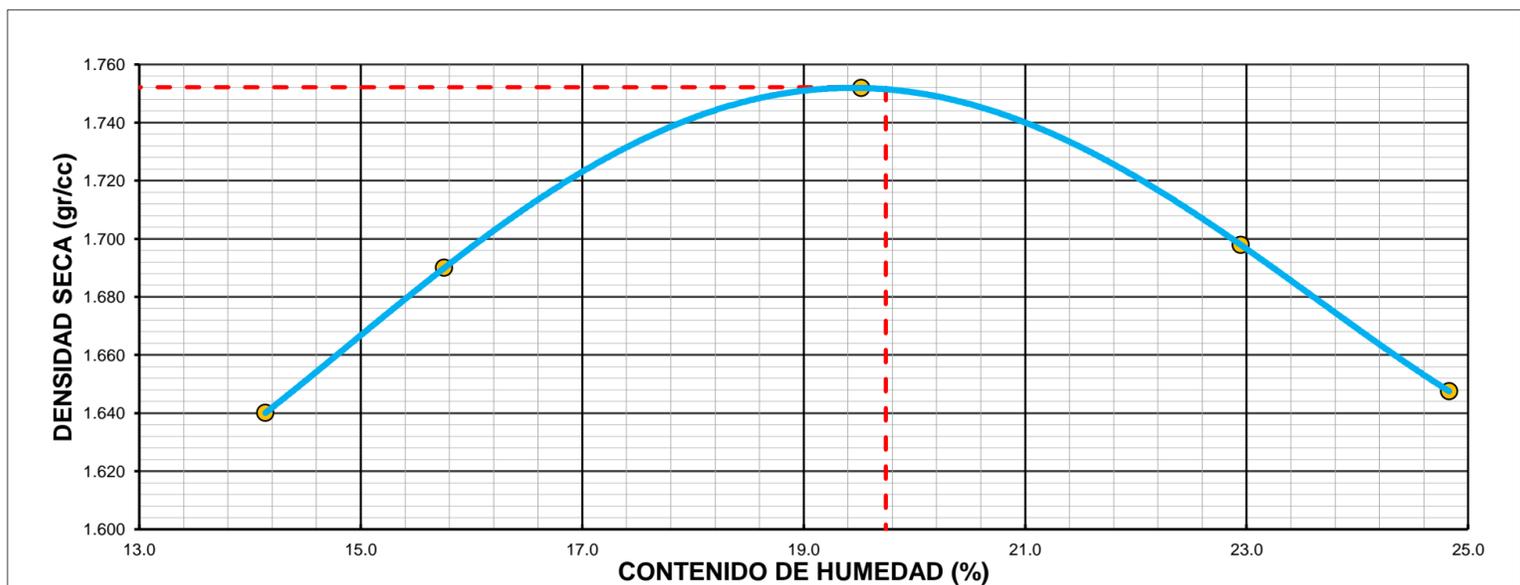


Tabla 30: Ensayo de CBR de la muestra con adición de la combinación de 1% de cal y 1% de cemento portland tipo I Co

RELACIÓN DE CAPACIDAD DE SOPORTE, CBR (MTC E - 132/ASTM D - 1883)
UBICACIÓN : CAJAMARCA - CAJAMARCA - BAÑOS DEL INCA

I. Datos Generales

PROCEDENCIA : AV. MANUEL NORIEGA	TAMAÑO MÁXIMO : 3/8"
CALICATA : Nº 01 E: 775228.12 - N: 9210413.29 - Z: 2704	LADO : IZQUIERDO
MATERIAL : ARENA ARCILLOSA	
PROFUND : 1.5	

DATOS DE LA MUESTRA

CALCULO DEL CBR

Molde Nº	6	5	4			
Capas Nº	5	5	5			
Golpes por capa Nº	12	25	56			
Condición de la muestra	NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO	SATURADO
Peso de molde + Suelo húmedo (g)	11550.0	11845.0	11900.0	12305.0	12340.0	12470.0
Peso de molde (g)	7785.0	7785.0	7685.0	7685.0	8055.0	8055.0
Peso del suelo húmedo (g)	3765.0	4060.0	4215.0	4620.0	4285.0	4415.0
Volumen del molde (cm ³)	2124.0	2124.0	2125.0	2125.0	2114.0	2114.0
Densidad húmeda (g/cm ³)	1.773	1.911	1.984	2.174	2.027	2.088
Tara (Nº)	C12	C2	C10	C7	C4	C11
Peso suelo húmedo + tara (g)	442.0	406.2	485.1	491.3	571.8	493.7
Peso suelo seco + tara (g)	395.3	345.3	432.0	419.1	508.0	431.3
Peso de tara (g)	87.1	91.8	88.5	88.6	87.4	95.4
Peso de agua (g)	46.7	60.9	53.1	72.2	63.8	62.4
Peso de suelo seco (g)	308.2	253.5	343.5	330.5	420.6	335.9
Contenido de humedad (%)	15.2	24.0	15.5	21.8	15.2	18.6
Densidad seca (g/cm ³)	1.539	1.541	1.718	1.784	1.760	1.761

EXPANSIÓN

FECHA	HORA	TIEMPO	DIAL	EXPANSIÓN		DIAL	EXPANSIÓN		DIAL	EXPANSIÓN	
				mm	%		mm	%		mm	%
16/08/23	17:30	0	0	0.000	0.000	0	0.000	0.000	0	0.000	0.000
17/08/23	17:30	24	20	1.600	1.391	30	1.350	1.174	45	0.860	0.748
18/08/23	17:30	48	18	1.720	1.496	32	1.500	1.304	53	1.010	0.878
19/08/23	17:30	72	18	1.850	1.609	32	1.650	1.435	55	1.100	0.957
20/08/23	17:30	96	18	1.910	1.661	32	1.700	1.478	55	1.150	1.000

PENETRACIÓN

PENETRACIÓN		CARGA	MOLDE Nº		M-06		MOLDE Nº		M-05		MOLDE Nº		M-04	
		STAND.	CARGA		CORRECCIÓN		CARGA		CORRECCIÓN		CARGA		CORRECCIÓN	
mm	pulg.	kg/cm2	Dial (div)	kg	kg	%	Dial (div)	kg	kg	%	Dial (div)	kg	kg	%
0.000	0.000		0.00	0			0.00	0			0.00	0		
0.635	0.025		44.20	2.7			88.40	5.0			95.20	5.4		
1.270	0.050		80.90	4.6			161.80	8.8			200.80	10.9		
1.905	0.075		105.00	5.9			215.10	11.6			309.40	16.5		
2.540	0.100	70.31	129.20	7.1	-	10.2	258.40	13.9	-	19.7	390.20	20.7	-	29.5
3.810	0.150		151.40	8.3			300.20	16.0			466.40	24.7		
5.080	0.200	105.46	173.20	9.4	-	8.9	340.10	18.1	-	17.2	536.10	28.3	-	26.8
6.350	0.250		183.60	10.0			365.20	19.4			575.80	30.4		
7.620	0.300		193.20	10.5			390.50	20.7			608.70	32.1		
10.160	0.400		213.70	11.5			427.40	22.7			676.10	35.6		
12.700	0.500		231.80	12.5			445.00	23.6			726.50	38.2		

Figura 24: Gráficas de relación de capacidad de soporte CBR de la muestra de suelo con adición de la combinación de 1% de cal y 1% de cemento portland tipo I Co

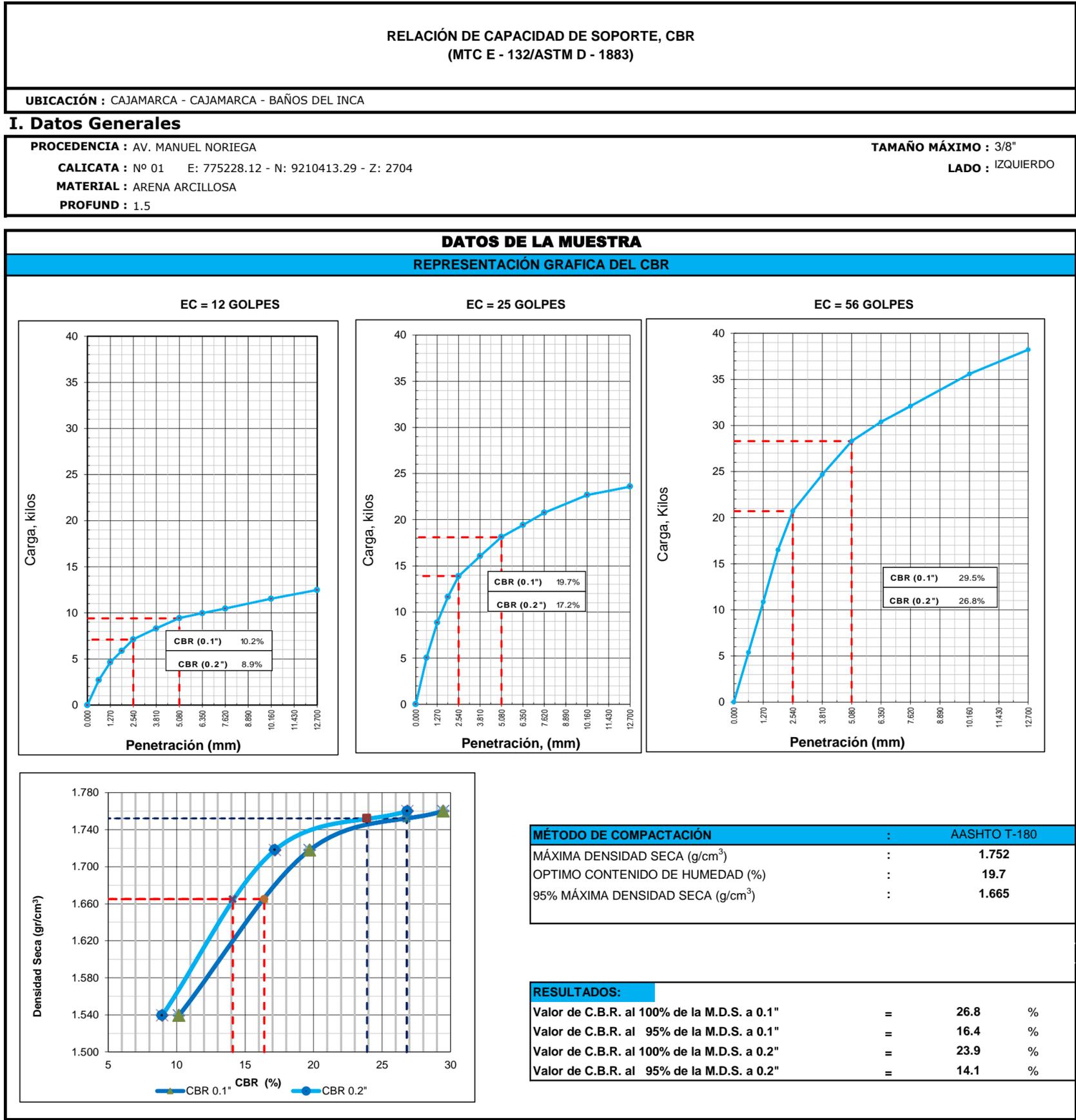


Tabla 31: Ensayo de Límites de Atterberg de la muestra con adición de la combinación de 2% de cal y 2% de cemento portland tipo I Co

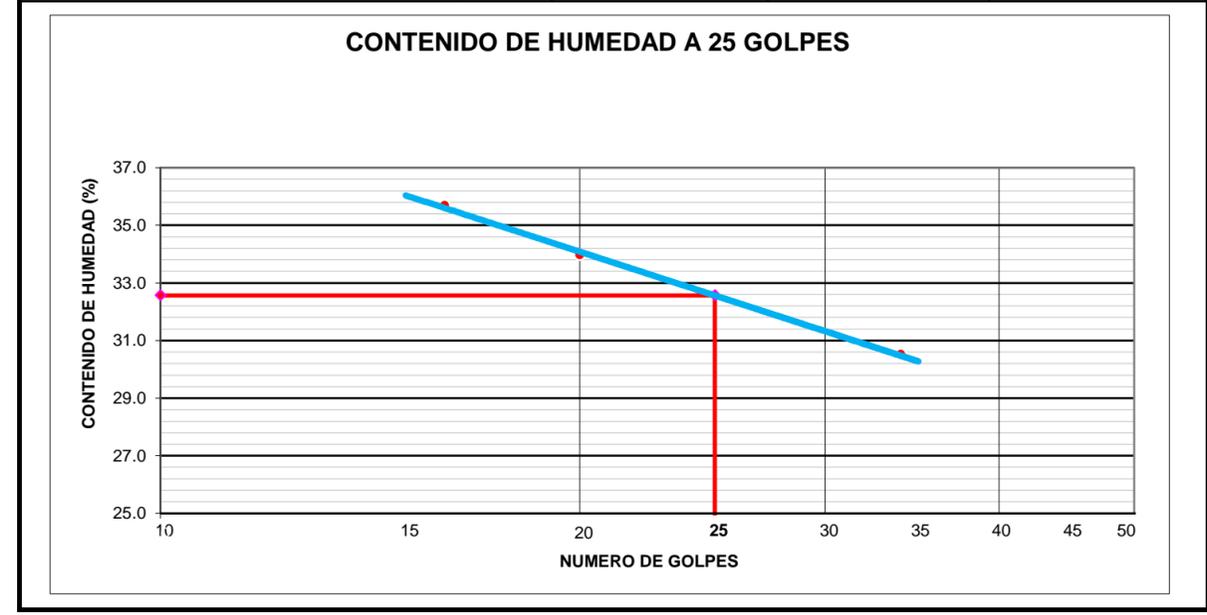
LIMITES DE CONSISTENCIA - PASA MALLA N° 40 (ASTM D4318 , MTC E-110)
UBICACIÓN : CAJAMARCA - CAJAMARCA - BAÑOS DEL INCA

I. Datos Generales

PROCEDENCIA : AV. MANUEL NORIEGA	TAMAÑO MÁXIMO : 3/8"
CALICATA : N° 01 E: 775228.12 - N: 9210413.29 - Z: 2704	LADO : IZQUIERDO
MATERIAL : ARENA ARCILLOSA	
PROFUND. : 1.5	

LIMITE LIQUIDO (MTC E 110)				
Nº TARRO		T-6	T-7	T-8
PESO TARRO + SUELO HÚMEDO	(g)	50.05	56.30	51.19
PESO TARRO + SUELO SECO	(g)	48.58	54.33	49.50
PESO DE AGUA	(g)	1.47	1.97	1.69
PESO DEL TARRO	(g)	44.46	48.53	43.96
PESO DEL SUELO SECO	(g)	4.12	5.80	5.54
CONTENIDO DE HUMEDAD	(%)	35.68	33.97	30.51
NUMERO DE GOLPES		16	20	34

LIMITE PLÁSTICO (MTC E 111)				
Nº TARRO		T-2	T-3	
PESO TARRO + SUELO HÚMEDO	(g)	36.76	34.89	
PESO TARRO + SUELO SECO	(g)	35.18	33.73	
PESO DE AGUA	(g)	1.58	1.16	
PESO DEL TARRO	(g)	28.88	29.01	
PESO DEL SUELO SECO	(g)	6.3	4.7	
CONTENIDO DE HUMEDAD	(%)	25.1	24.6	



CONSTANTES FÍSICAS DE LA MUESTRA	
LIMITE LIQUIDO	33
LIMITE PLÁSTICO	25
ÍNDICE DE PLASTICIDAD	8

Tabla 32: Ensayo de Proctor Modificado de la muestra con adición de la combinación de 2% de cal y 2% de cemento portland tipo I Co

RELACIÓN DENSIDAD/HUMEDAD (PROCTOR MODIFICADO) (MTC E-115 / ASTM D-1557 / AASHTO T-180)
UBICACIÓN : CAJAMARCA - CAJAMARCA - BAÑOS DEL INCA

I. Datos Generales

PROCEDENCIA : AV. MANUEL NORIEGA CALICATA : Nº 01 E: 775228.12 - N: 9210413.29 - Z: 2704 MATERIAL : ARENA ARCILLOS PROFUND : 1.5	TAMAÑO MÁXIMO: 3/8" LADO: IZQUIERDO
---	--

DATOS DE LA MUESTRA						
Molde Nº 1	Diámetro Molde Método	4"	Volumen Molde	937	m3.	Nº de capas
		C	Peso Molde	3935	gr.	Nº de golpes
						5
						25

NUMERO DE ENSAYOS		1	2	3	4	5
Peso Suelo + Molde	gr.	5,704	5,826	5,940	5,928	5,865
Peso Suelo Húmedo Compactado	gr.	1,769	1,891	2,005	1,993	1,930
Peso Volumétrico Húmedo	gr.	1.888	2.018	2.140	2.127	2.06
Recipiente Numero		C7	C12	C5	C9	C9
Peso Suelo Húmedo + Tara	gr.	422.8	429.1	494.4	420.9	485.3
Peso Suelo Seco + Tara	gr.	374.6	375.6	422.4	354.6	401.2
Peso de la Tara	gr.	88.4	88.4	87.2	87.6	88.5
Peso del agua	gr.	48.2	53.5	72.0	66.3	84.1
Peso del Suelo Seco	gr.	286	287	335	267	313
Contenido de agua	%	16.8	18.6	21.5	24.8	26.9
Densidad Seca del Suelo	gr/cc	1.616	1.701	1.761	1.704	1.623

RESULTADOS			
Densidad Máxima Seca	1.762	(gr/cm3)	Humedad óptima
			21.8 %

RELACIÓN HUMEDAD - DENSIDAD SECA

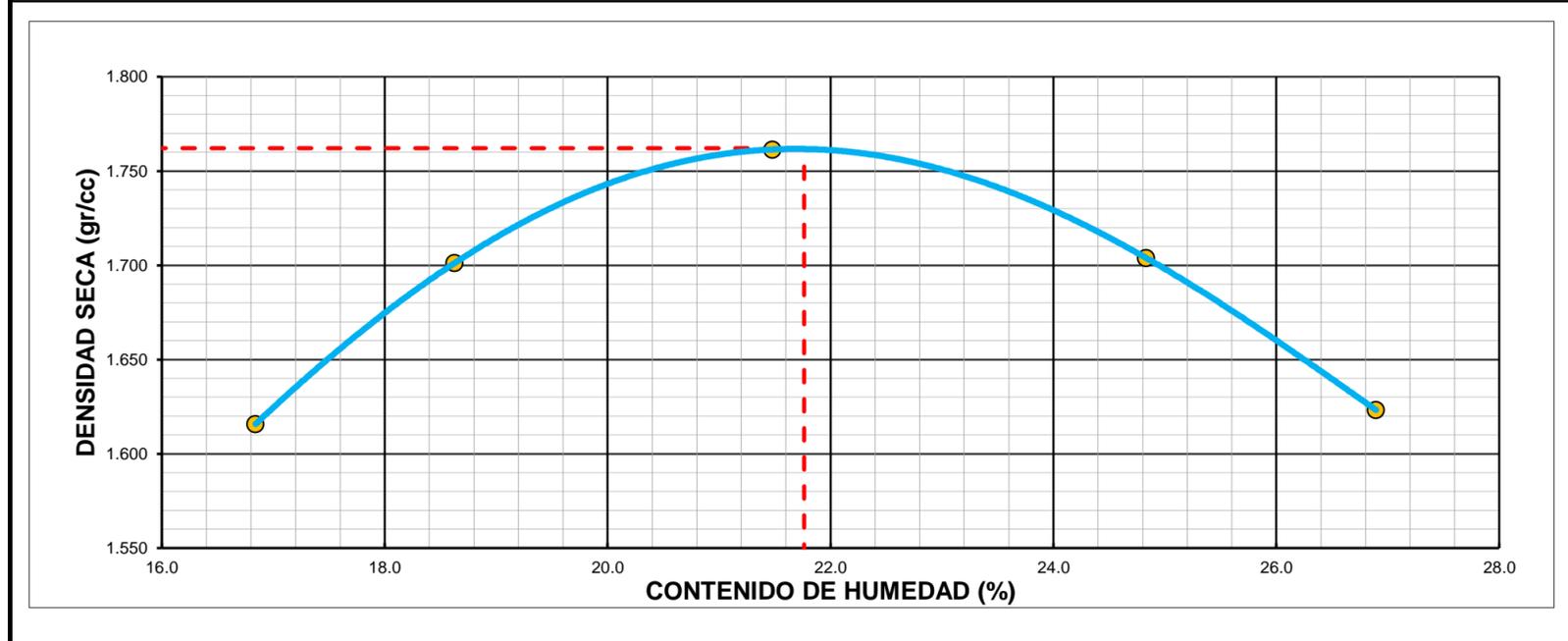


Tabla 33: Ensayo de CBR de la muestra con adición de la combinación de 2% de cal y 2% de cemento portland tipo I Co

RELACIÓN DE CAPACIDAD DE SOPORTE, CBR (MTC E - 132/ASTM D - 1883)
UBICACIÓN : CAJAMARCA - CAJAMARCA - BAÑOS DEL INCA

I. Datos Generales

PROCEDENCIA : AV. MANUEL NORIEGA	TAMAÑO MÁXIMO : 3/8"
CALICATA : N° 01 E: 775228.12 - N: 9210413.29 - Z: 2704	LADO : IZQUIERDO
MATERIAL : ARENA ARCILLOSA	
PROFUND : 1.5	

DATOS DE LA MUESTRA														
CALCULO DEL CBR														
Molde N°	6			5			4							
Capas N°	5			5			5							
Golpes por capa N°	12			25			56							
Condición de la muestra	NO SATURADO	SATURADO		NO SATURADO	SATURADO		NO SATURADO	SATURADO		NO SATURADO	SATURADO			
Peso de molde + Suelo húmedo (g)	12050.0	12370.0		12030.0	12310.0		12310.0	12425.0						
Peso de molde (g)	8170.0	8170.0		7800.0	7800.0		7930.0	7930.0						
Peso del suelo húmedo (g)	3880.0	4200.0		4230.0	4510.0		4380.0	4495.0						
Volumen del molde (cm ³)	2120.0	2120.0		2124.0	2124.0		2126.0	2126.0						
Densidad húmeda (g/cm ³)	1.830	1.981		1.992	2.123		2.060	2.114						
Tara (N°)	C3	C1		C7	C12		C1	C6						
Peso suelo húmedo + tara (g)	476.0	406.2		485.1	494.0		575.5	382.5						
Peso suelo seco + tara (g)	425.0	345.3		433.0	419.1		512.0	345.4						
Peso de tara (g)	87.1	91.8		88.5	87.2		88.4	125.2						
Peso de agua (g)	51.0	60.9		52.1	74.9		63.5	37.2						
Peso de suelo seco (g)	337.9	253.5		344.5	331.9		423.6	220.1						
Contenido de humedad (%)	15.1	24.0		15.1	22.6		15.0	16.9						
Densidad seca (g/cm ³)	1.590	1.598		1.730	1.732		1.792	1.809						
EXPANSIÓN														
FECHA	HORA	TIEMPO	DIAL	EXPANSIÓN		DIAL	EXPANSIÓN		DIAL	EXPANSIÓN				
				mm	%		mm	%		mm	%			
16/08/23	17:30	0	0	0.000	0.000	0	0.000	0.000	0	0.000	0.000			
17/08/23	17:30	24	20	0.800	0.696	30	0.750	0.652	45	0.680	0.591			
18/08/23	17:30	48	18	0.850	0.739	32	0.810	0.704	53	0.750	0.652			
19/08/23	17:30	72	18	0.880	0.765	32	0.830	0.722	55	0.770	0.670			
20/08/23	17:30	96	18	0.900	0.783	32	0.840	0.730	55	0.780	0.678			
PENETRACIÓN														
PENETRACIÓN		CARGA	MOLDE N°	M-06		MOLDE N°	M-05		MOLDE N°	M-04				
		STAND.	CARGA	CORRECCIÓN		CARGA	CORRECCIÓN		CARGA	CORRECCIÓN				
mm	pulg.	kg/cm2	Dial (div)	kg	kg	%	Dial (div)	kg	kg	%	Dial (div)	kg	kg	%
0.000	0.000		0.00	0			0.00	0			0.00	0		
0.635	0.025		35.50	2.3			118.10	6.6			232.70	12.5		
1.270	0.050		77.00	4.4			269.80	14.5			534.20	28.2		
1.905	0.075		115.00	6.4			384.10	20.4			647.70	34.1		
2.540	0.100	70.31	145.10	8.0	-	11.3	475.40	25.2	-	35.8	742.10	39.0	-	55.5
3.810	0.150		172.60	9.4			590.60	31.1			847.30	44.5		
5.080	0.200	105.46	195.70	10.6	-	10.1	651.00	34.3	-	32.5	944.90	49.6	-	47.0
6.350	0.250		210.60	11.4			712.70	37.5			1025.60	53.8		
7.620	0.300		232.00	12.5			771.70	40.6			1075.00	56.4		
10.160	0.400		261.90	14.0			855.50	44.9			1166.20	61.1		
12.700	0.500		276.80	14.8			887.40	46.6			1250.00	65.5		

Figura 25: Gráficas de relación de capacidad de soporte CBR de la muestra de suelo con adición de la combinación de 2% de cal y 2% de cemento portland tipo I Co

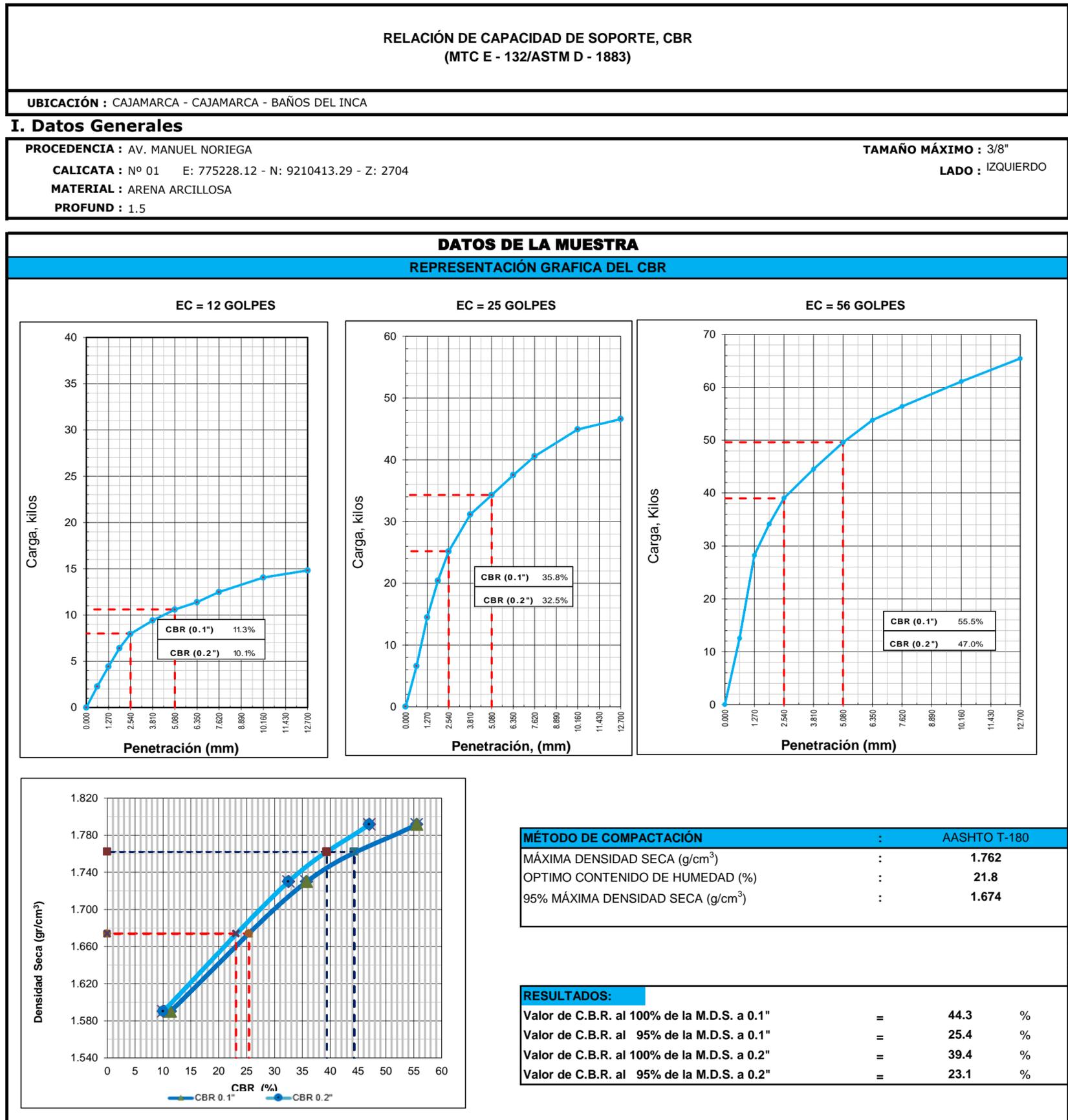


Tabla 34: Ensayo de Límites de Atterberg de la muestra con adición de la combinación de 3% de cal y 3% de cemento portland tipo I Co

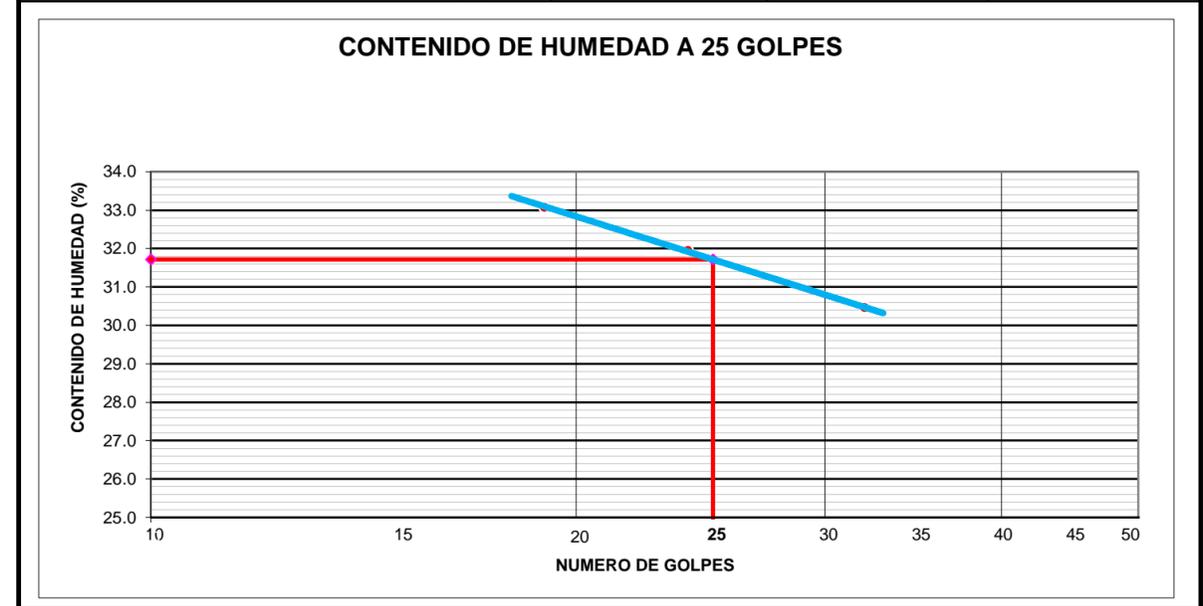
LIMITES DE CONSISTENCIA - PASA MALLA N° 40 (ASTM D4318 , MTC E-110)
UBICACIÓN : CAJAMARCA - CAJAMARCA - BAÑOS DEL INCA

I. Datos Generales

PROCEDENCIA : AV. MANUEL NORIEGA	TAMAÑO MÁXIMO : 3/8"
CALICATA : N° 01 E: 775228.12 - N: 9210413.29 - Z: 2704	LADO : IZQUIERDO
MATERIAL : ARENA ARCILLOSA	
PROFUND. : 1.5	

LIMITE LIQUIDO (MTC E 110)				
Nº TARRO		T-6	T-7	T-8
PESO TARRO + SUELO HÚMEDO	(g)	55.06	51.15	50.80
PESO TARRO + SUELO SECO	(g)	53.77	49.53	49.21
PESO DE AGUA	(g)	1.29	1.62	1.59
PESO DEL TARRO	(g)	49.87	44.46	43.99
PESO DEL SUELO SECO	(g)	3.90	5.07	5.22
CONTENIDO DE HUMEDAD	(%)	33.08	31.95	30.46
NUMERO DE GOLPES		19	24	32

LIMITE PLÁSTICO (MTC E 111)				
Nº TARRO		T-2	T-3	
PESO TARRO + SUELO HÚMEDO	(g)	35.73	37.95	
PESO TARRO + SUELO SECO	(g)	34.70	36.41	
PESO DE AGUA	(g)	1.03	1.54	
PESO DEL TARRO	(g)	30.67	30.14	
PESO DEL SUELO SECO	(g)	4.0	6.3	
CONTENIDO DE HUMEDAD	(%)	25.6	24.6	



CONSTANTES FÍSICAS DE LA MUESTRA	
LIMITE LIQUIDO	32
LIMITE PLÁSTICO	25
ÍNDICE DE PLASTICIDAD	7

Tabla 35: Ensayo de Proctor Modificado de la muestra con adición de la combinación de 3% de cal y 3% de cemento portland tipo I Co

RELACIÓN DENSIDAD/HUMEDAD (PROCTOR MODIFICADO) (MTC E-115 / ASTM D-1557 / AASHTO T-180)
UBICACIÓN : CAJAMARCA - CAJAMARCA - BAÑOS DEL INCA

I. Datos Generales

PROCEDENCIA : AV. MANUEL NORIEGA CALICATA : Nº 01 E: 775228.12 - N: 9210413.29 - Z: 2704 MATERIAL : ARENA ARCILLOS PROFUND : 1.5	TAMAÑO MÁXIMO: 3/8" LADO: IZQUIERDO
---	--

DATOS DE LA MUESTRA							
Molde Nº 1	Diámetro Molde Método	4"	Volumen Molde	937	m3.	Nº de capas	
		C	Peso Molde	3935	gr.	Nº de golpes	
						5	
						25	
NUMERO DE ENSAYOS			1	2	3	4	5
Peso Suelo + Molde	gr.		5,751	5,851	5,982	5,976	5,935
Peso Suelo Húmedo Compactado	gr.		1,816	1,916	2,047	2,041	2,000
Peso Volumétrico Húmedo	gr.		1.938	2.045	2.185	2.178	2.13
Recipiente Numero			C7	C12	C5	C9	C16
Peso Suelo Húmedo + Tara	gr.		403.6	452.1	408.3	485.2	505.2
Peso Suelo Seco + Tara	gr.		356.4	392.2	347.2	407.0	408.1
Peso de la Tara	gr.		87.6	87.6	87.2	125.2	88.4
Peso del agua	gr.		47.2	59.9	61.1	78.2	97.1
Peso del Suelo Seco	gr.		269	305	260	282	320
Contenido de agua	%		17.6	19.7	23.5	27.8	30.4
Densidad Seca del Suelo	gr/cc		1.649	1.709	1.769	1.705	1.637

RESULTADOS			
Densidad Máxima Seca	1.770	(gr/cm3)	Humedad óptima
			23.9 %

RELACIÓN HUMEDAD - DENSIDAD SECA

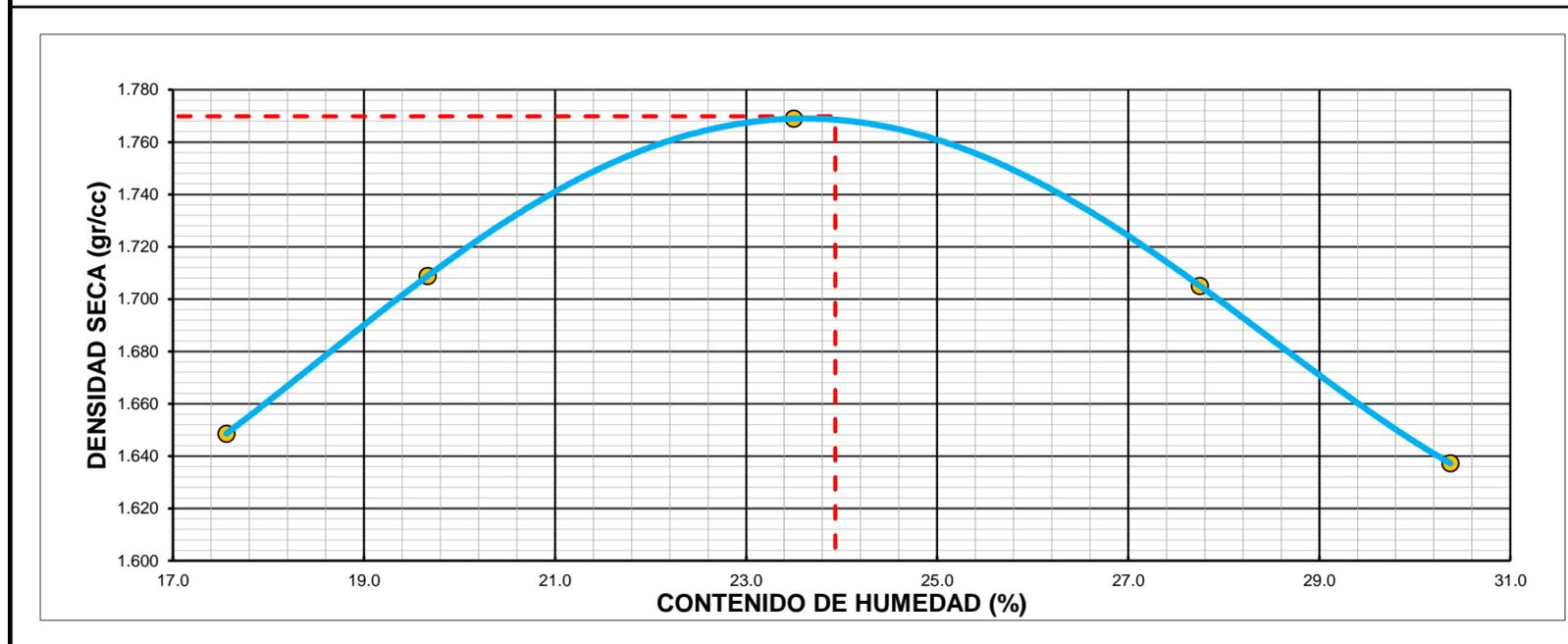


Tabla 36: Ensayo de CBR de la muestra con adición de la combinación de 3% de cal y 3% de cemento portland tipo I Co

RELACIÓN DE CAPACIDAD DE SOPORTE, CBR (MTC E - 132/ASTM D - 1883)
UBICACIÓN : CAJAMARCA - CAJAMARCA - BAÑOS DEL INCA

I. Datos Generales

PROCEDENCIA : AV. MANUEL NORIEGA	TAMAÑO MÁXIMO : 3/8"
CALICATA : Nº 01 E: 775228.12 - N: 9210413.29 - Z: 2704	LADO : IZQUIERDO
MATERIAL : ARENA ARCILLOSA	
PROFUND : 1.5	

DATOS DE LA MUESTRA

CALCULO DEL CBR

	6	5	5	4
Molde Nº	6	5	5	4
Capas Nº	5	5	5	5
Golpes por capa Nº	12	25	25	56
Condición de la muestra	NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO	SATURADO
Peso de molde + Suelo húmedo (g)	11785.0	12040.0	12080.0	12360.0
Peso de molde (g)	7960.0	7960.0	7890.0	7890.0
Peso del suelo húmedo (g)	3825.0	4080.0	4190.0	4470.0
Volumen del molde (cm ³)	2119.0	2119.0	2120.0	2120.0
Densidad húmeda (g/cm ³)	1.805	1.925	1.976	2.108
Tara (Nº)	C3	C1	C7	C12
Peso suelo húmedo + tara (g)	520.0	477.3	485.0	485.1
Peso suelo seco + tara (g)	464.3	407.6	433.0	418.5
Peso de tara (g)	91.9	87.5	94.5	87.2
Peso de agua (g)	55.7	69.7	52.0	66.6
Peso de suelo seco (g)	372.4	320.1	338.5	331.3
Contenido de humedad (%)	15.0	21.8	15.4	20.1
Densidad seca (g/cm ³)	1.570	1.581	1.713	1.756

EXPANSIÓN

FECHA	HORA	TIEMPO	DIAL	EXPANSIÓN		DIAL	EXPANSIÓN		DIAL	EXPANSIÓN	
				mm	%		mm	%		mm	%
16/08/23	17:30	0	0	0.000	0.000	0	0.000	0.000	0	0.000	0.000
17/08/23	17:30	24	20	0.800	0.696	30	0.750	0.652	45	0.760	0.661
18/08/23	17:30	48	18	0.910	0.791	32	0.890	0.774	53	0.820	0.713
19/08/23	17:30	72	18	0.940	0.817	32	0.920	0.800	55	0.830	0.722
20/08/23	17:30	96	18	0.950	0.826	32	0.940	0.817	55	0.830	0.722

PENETRACIÓN

PENETRACIÓN		CARGA	MOLDE Nº		M-06		MOLDE Nº		M-05		MOLDE Nº		M-04	
		STAND.	CARGA		CORRECCIÓN		CARGA		CORRECCIÓN		CARGA		CORRECCIÓN	
mm	pulg.	kg/cm2	Dial (div)	kg	kg	%	Dial (div)	kg	kg	%	Dial (div)	kg	kg	%
0.000	0.000		0.00	0			0.00	0			0.00	0		
0.635	0.025		182.00	9.9			253.40	13.6			198.00	10.7		
1.270	0.050		359.70	19.1			500.80	26.5			544.20	28.7		
1.905	0.075		446.10	23.6			621.10	32.7			777.70	40.9		
2.540	0.100	70.31	504.30	26.7	-	37.9	693.90	36.5	-	51.9	956.40	50.2	-	71.4
3.810	0.150		549.60	29.0			765.60	40.3			1120.70	58.7		
5.080	0.200	105.46	592.20	31.2	-	29.6	824.50	43.3	-	41.1	1238.10	64.8	-	61.5
6.350	0.250		612.40	32.3			856.30	45.0			1350.10	70.7		
7.620	0.300		636.70	33.5			886.50	46.5			1425.80	74.6		
10.160	0.400		665.80	35.1			927.00	48.7			1569.40	82.1		
12.700	0.500		711.70	37.4			966.30	50.7			1711.70	89.5		

Figura 26: Gráficas de relación de capacidad de soporte CBR de la muestra de suelo con adición de la combinación de 3% de cal y 3% de cemento portland tipo I Co

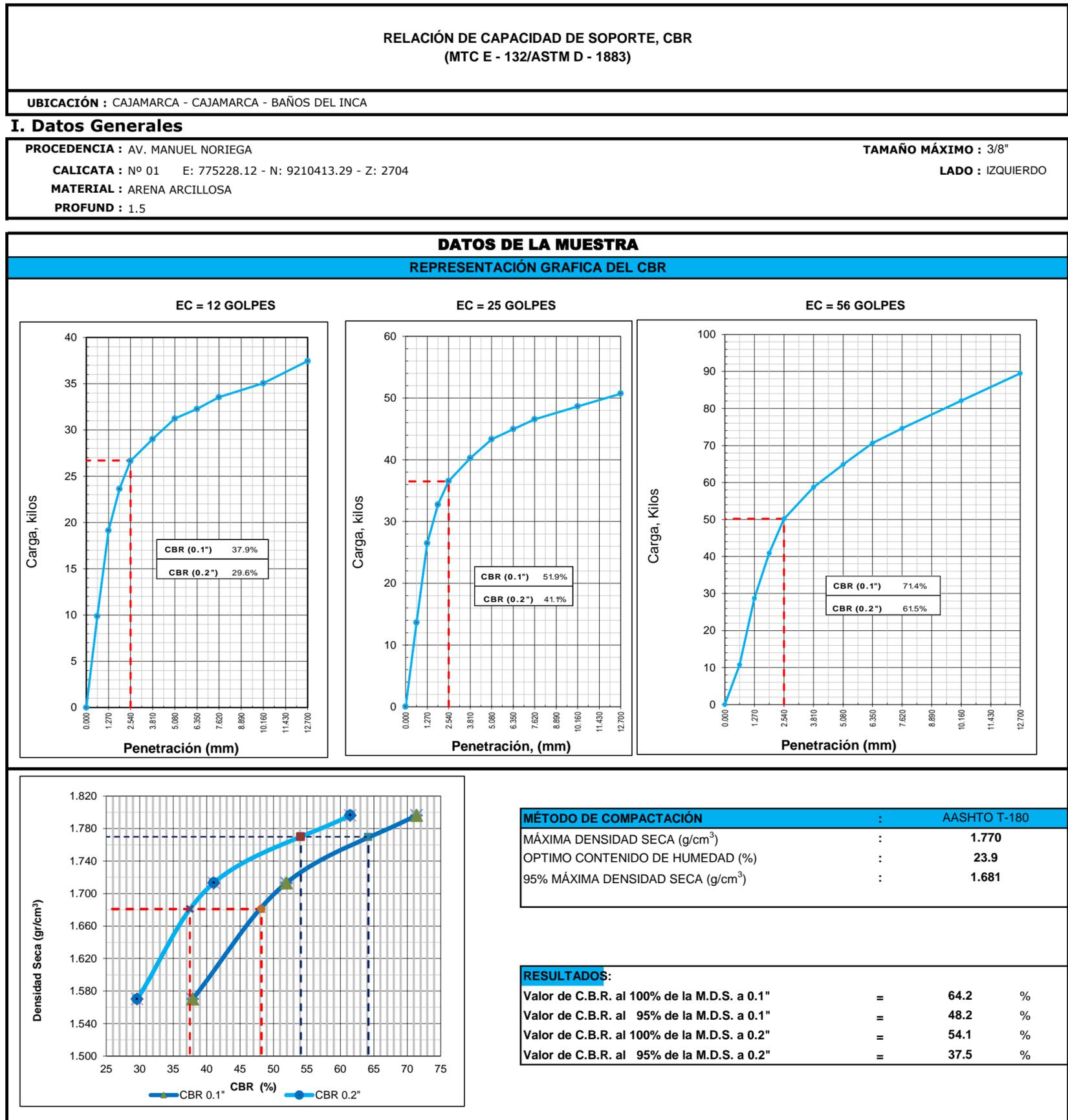


Figura 27: Perfil estratigráfico de calicata C1

PERFIL ESTRATIGRÁFICO	
UBICACIÓN : CAJAMARCA - CAJAMARCA - BAÑOS DEL INCA	
I. Datos Generales	
PROCEDENCIA : AV. MANUEL NORIEGA	TAMAÑO MÁXIMO : 3/8"
CALICATA : N° 01 E: 775228.12 - N: 9210413.29 - Z: 2704	LADO : IZQUIERDO
MATERIAL : ARENA ARCILLOSA	
PROFUND. (m) : 1.5	



Tabla 37: Ensayo de contenido de humedad de la muestra en estado natural de calicata C2

CONTENIDO DE HUMEDAD NATURAL (ASTM D 2216, MTC E 108)		
UBICACIÓN : CAJAMARCA - CAJAMARCA - BAÑOS DEL INCA		
I. Datos Generales		
PROCEDENCIA : AV. MANUEL NORIEGA	TAMAÑO MÁXIMO : 3/8"	
CALICATA : N° 02 E: 775415.32 - N: 9210851.10 - Z: 2705	LADO : IZQUIERDO	
MATERIAL : ARENA ARCILLOSA		
PROFUND. (m) : 1.5		
DATOS DE LA MUESTRA		
N° DE ENSAYOS	1	2
N° Tara	T-1	T-2
Peso Tara + Suelo Húmedo (gr.)	1054.0	1126.0
Peso Tara + Suelo Seco (gr.)	901.0	985.0
Peso Tara (gr.)	86.0	85.0
Peso Agua (gr.)	153.0	141.0
Peso Suelo Seco (gr.)	815.0	900.0
Contenido de Humedad (gr.)	18.8	15.7
Promedio (%)	17.2	

Tabla 38: Ensayo de Límites de Atterberg de la muestra en estado natural de calicata C2

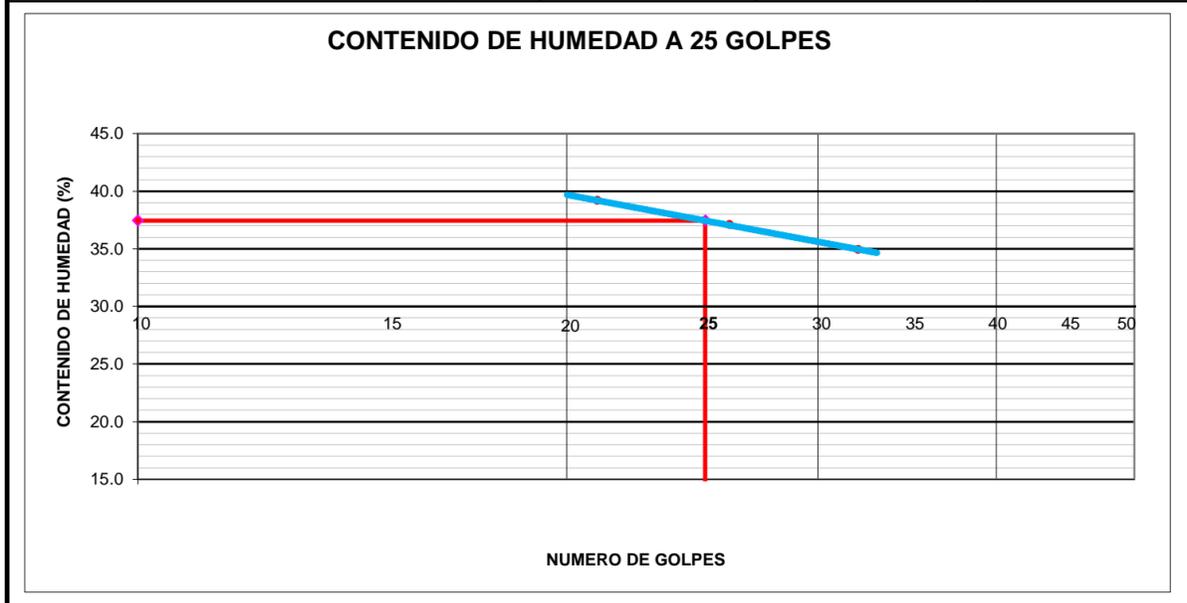
LIMITES DE CONSISTENCIA - PASA MALLA N° 40 (ASTM D4318 , MTC E-110)
UBICACIÓN : CAJAMARCA - CAJAMARCA - BAÑOS DEL INCA

I. Datos Generales

PROCEDENCIA : AV. MANUEL NORIEGA	TAMAÑO MÁXIMO : 3/8"
CALICATA : N° 02 E: 775415.32 - N: 9210851.10 - Z: 2705	LADO : IZQUIERDO
MATERIAL : ARENA ARCILLOSA	
PROFUND. : 1.5	

LIMITE LIQUIDO (MTC E 110)				
Nº TARRO		T-6	T-7	T-8
PESO TARRO + SUELO HÚMEDO	(g)	49.88	53.91	55.78
PESO TARRO + SUELO SECO	(g)	48.56	51.91	54.25
PESO DE AGUA	(g)	1.32	2.00	1.53
PESO DEL TARRO	(g)	45.19	46.52	49.87
PESO DEL SUELO SECO	(g)	3.37	5.39	4.38
CONTENIDO DE HUMEDAD	(%)	39.17	37.11	34.93
NUMERO DE GOLPES		21	26	32

LIMITE PLÁSTICO (MTC E 111)				
Nº TARRO		T-2	T-3	
PESO TARRO + SUELO HÚMEDO	(g)	38.65	37.79	
PESO TARRO + SUELO SECO	(g)	37.05	36.38	
PESO DE AGUA	(g)	1.60	1.41	
PESO DEL TARRO	(g)	29.05	29.02	
PESO DEL SUELO SECO	(g)	8.0	7.4	
CONTENIDO DE HUMEDAD	(%)	20.0	19.2	



CONSTANTES FÍSICAS DE LA MUESTRA	
LIMITE LIQUIDO	37
LIMITE PLÁSTICO	20
ÍNDICE DE PLASTICIDAD	18

Tabla 39: Ensayo de Análisis Granulométrico de la muestra en estado natural de calicata C2

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO (ASTM D422 - MTC E107 - MTC E204 - ASTM C136)
UBICACIÓN : CAJAMARCA - CAJAMARCA - BAÑOS DEL INCA

I. Datos Generales

PROCEDENCIA: AV. MANUEL NORIEGA	TAMAÑO MÁXIMO : 3/8"
CALICATA : Nº 02 E: 775415.32 - N: 9210851.10 - Z: 2705	LADO : IZQUIERDO
MATERIAL : ARENA ARCILLOSA	
PROFUND. (m): 1.50	

DATOS DE LA MUESTRA

Tamiz ASTM	Abertura (mm.)	Peso Retenido	E: 192197 - N: 8417164 - Z: 3751		Porcentaje que Pasa	Espec. Técnica	Descripción de la Muestra
			Parcial	Acumulado			
4"	101.600						
3 1/2"	88.900						
3"	76.200						CARACTERÍSTICAS
2 1/2"	63.500						% Grava = 7.0 %
2"	50.800						% Arena = 72.9 %
1 1/2"	38.100						% Fino Nº200 = 20.1 %
1"	25.400						CLASIFICACIÓN
3/4"	19.050						CLASIFICACIÓN AASHTO : A-2-6 (1)
1/2"	12.700				100.0		CLASIFICACIÓN SUCS : SC
3/8"	9.525	4.8	1.0	1.0	99.0		
1/4"	6.350	13.3	2.7	3.7	96.3		
No. 4	4.760	16.7	3.3	7.0	93.0		
No. 10	2.000	115.4	23.1	30.1	69.9		
No. 20	0.834	124.2	24.8	54.9	45.1		
No. 40	0.420	75.3	15.1	70.0	30.0		PESO DEL MATERIAL
No. 60	0.250	18.5	3.7	73.7	26.3		Peso Inicial (gr) : 500.0
No. 100	0.149	13.6	2.7	76.4	23.6		Peso Fracción Fino (gr) :
No. 200	0.075	17.4	3.5	79.9	20.1		
-200				100.0			

CURVA GRANULOMÉTRICA

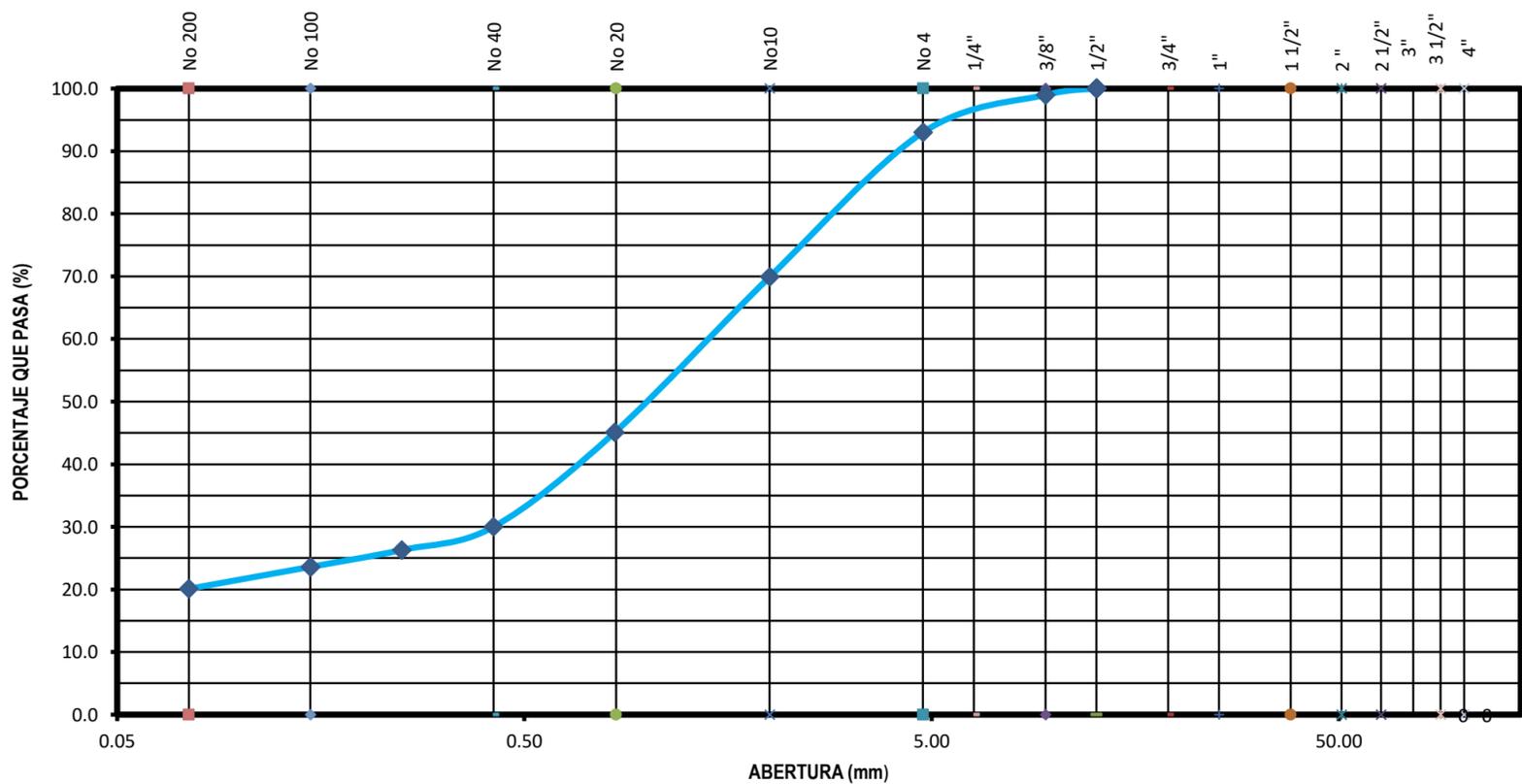


Tabla 40: Ensayo de Gravedad Específica de la muestra en estado natural de calicata C2

GRAVEDAD ESPECÍFICA (NTP 339 131 / ASTM D854 / MTC E 113)
UBICACIÓN : CAJAMARCA - CAJAMARCA - BAÑOS DEL INCA

I. Datos Generales

PROCEDENCIA : AV. MANUEL NORIEGA	TAMAÑO MÁXIMO : 3/8"
CALICATA : N° 02 E: 775415.32 - N: 9210851.10 - Z: 2705	LADO : IZQUIERDO
MATERIAL : ARENA ARCILLOSA	
PROFUND. (m) : 1.5	

DATOS DE LA MUESTRA				
Muestra	Nº	01	02	03
Temperatura De Mezcla	°C	20.5	22	21
Densidad Del Agua	(g/cm ³)	0.99821	0.99821	0.99821
Factor De Corrección	(k)	1	1	1
Picnómetro	Nº	25	25	25
Volumen Del Picnómetro	(ml)	500	500	500
Peso Del Picnómetro	(g)	156.9	156.9	156.9
Peso Del Picnómetro+Suelo+Agua	(g)	966.87	969.19	967.38
Numero De Recipiente De Traspaso	Nº	21	21	21
Peso De Recipiente De Traspaso	(g)	121.32	118.24	127.73
Peso De Recipiente De Traspaso + Suelo Seco	(g)	621.47	619.78	627.93
Peso De Suelo Seco	(g)	500.15	501.54	500.2
Masa Picnómetro lleno de agua a temperatura de ensayo (Mpw,t)	(g)	656.005	656.005	656.005
GRAVEDAD ESPECÍFICA :	(g/cm³)	2.642	2.663	2.649
RESULTADOS				
GRAVEDAD ESPECÍFICA PROMEDIO :		2.65		

ANEXO 3: CERTIFICADOS DE LABORATORIO



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA

Norte de la Universidad Peruana

Fundada por Ley 14015 del 13 de febrero de 1962

FACULTAD DE INGENIERIA

Telefax N° 0051-76-365976 Anexo N° 129-130 / 147

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS



Const. N° 001-2023

EL QUE SUSCRIBE JEFE DEL LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA

CONSTANCIA

Que el Bachiller en Ingeniería **Civil VASQUEZ SILVA, BRINER** ex alumno de la Escuela Académico Profesional de Ingeniería Civil de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Cajamarca, según consta en el cuaderno de asistencia del Laboratorio de Mecánica de Suelos, ha realizado los ensayos de contenido de humedad, límites de Atterberg, granulometría, gravedad específica y proctor modificado en dicho Laboratorio para la elaboración del proyecto profesional: "ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE LA COMBINACIÓN DE CAL Y CEMENTO PORTLAND TIPO I Co COMO ADITIVO EN LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DE LA SUBRASANTE DE LA AV. MANUEL NORIEGA EN CAJAMARCA, 2022", en el siguiente periodo :

Del 2 de agosto al 7 de agosto del 2023

El laboratorio no se responsabiliza por la ejecución y los resultados de los ensayos realizados.

Se expide el presente a solicitud verbal del interesado para los fines que estime por conveniente.

ING. MARCO HOYOS SAUCEDO

JEFE DE LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS

Cajamarca, 24 de agosto de 2023



CONTANCIA

CAJAMARCA, 11 DE AGOSTO DEL 2023

Mediante este presente se hace referencia que **BRINER VASQUEZ SILVA**, BACHILLER EN INGENIERÍA CIVIL, ha realizado el ensayo de CBR, para tesis: “ANALISIS DEL COMPORTAMIENTO DE LA COMBINACIÓN DE CAL Y CEMENTO PORTLAND TIPO I Co COMO ADITIVO EN LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DE LA SUBRASANTE DE LA AV. MANUEL NORIEGA EN CAJAMARCA, 2022”, en el laboratorio **KAOLYN INGENIEROS SAC**, con **RUC:20529476931**, en el periodo de 06 al 10 de Agosto del 2023 del presente año.

Sirva el presente documento para fines que crea conveniente.


KAOLYN INGENIEROS SAC
ESPECIALISTA DE MECÁNICA DE SUELOS Y CONCRETO
ING. LILIAN ROCIO VILLANUEVA BAZÁN
CIP 116722
GERENTE GENERAL

LILIAN ROCIO VILLANUEVA BAZÁN

DNI: 42312689
GERENTE GENERAL



PERÚ

Presidencia
del Consejo de Ministros

INDECOPI

Registro de la Propiedad Industrial

Dirección de Signos Distintivos

CERTIFICADO N° 00089931

La Dirección de Signos Distintivos del Instituto Nacional de Defensa de la Competencia y de la Protección de la Propiedad Intelectual – INDECOPI, certifica que por mandato de la Resolución N° 018207-2015/DSD - INDECOPI de fecha 18 de Setiembre de 2015, ha quedado inscrito en el Registro de Marcas de Servicio, el siguiente signo:

Signo : La denominación KAOLYN INGENIEROS S.A.C. y logotipo (se reivindica colores), conforme al modelo adjunto.

Distingue : Calibración, control de calidad, ensayo de materiales, estudio de proyectos técnicos, servicio de mecánica de suelos y concreto (laboratorio científico), levantamiento topográficos, materiales (ensayos de abrasin, permeabilidad, concreto), prueba de materiales, topografías (levantamientos rurales y urbanos)

Clase : 42 de la Clasificación Internacional.

Solicitud : 0623441-2015.

Titular : KAOLIN INGENIEROS S.A.C.

País : Perú

Vigencia : 18 de Setiembre de 2025

Tomo : 450

Folio : 131

RAY MELONI GARCIA
Director
Dirección de Signos Distintivos
INDECOPI





CERTIFICADO DE VERIFICACIÓN N° CCGS – 50009 – 2022

Expediente : TLPS-00191022-100025

Fecha de emisión : 20/10/2022

1. Solicitante : KAOLYN INGENIEROS S.A.C.

RUC : 20529476931

2. Descripción del Equipo : COPA CASA GRANDE

Incluye : CONTADOR DE GOLPE

Marca de la base : KAIZA CORP

Modelo del equipo : NO INDICA

Serie del equipo : NO INDICA

Tipo de Sistema : MANUAL

3. Lugar y fecha de Calibración

Lugar : JR. PARAISO 120 URB.COLUMNBO CAJAMARCA-CAJAMARCA-CAJAMARCA

Fecha : 12/10/2022

4. Trazabilidad

Este certificado de calibración documenta la trazabilidad a los patrones nacionales, que realizan unidades de medida de acuerdo con el Sistema Internacional de Unidades (SI).

El equipo de medición con el modelo y número de serie indicados en el presente informe, ha sido calibrado probado y verificado usando patrones certificados con trazabilidad a la Dirección de Metrología del INACAL y otros.

Los resultados son válidos en el momento y en las condiciones de la calibración. Al solicitante le corresponde disponer en su momento la ejecución de un re calibración, la cual está en función del uso, conservación y mantenimiento del instrumento de medición o a reglamentaciones vigentes.

Terraservice Laboratorio Perú S.R.L no se responsabiliza de los perjuicios que pueda ocasionar el uso inadecuado de este instrumento, ni de una incorrecta interpretación de los resultados de la calibración aquí declarados.

Patrón de Referencia	Patrón de Trabajo	Certificado de calibración o fabricación
Pie de rey	Vernier INSIZE Div. Esc. 0-200x0.05mm	TC - 07682 - 2022 INACAL
Durómetro tipo D	Durometro REX GAUGE CO. Div. Esc. 1 /0 shore D a 90 shore D	RD - 0118171
Durómetro tipo A	Durometro Hardness Tester Div. Esc. 1/0 shore A	-
Resilience Test	HUMBOLDT Resilience Test / 0 % a 100%	-
Comparador de cuadrante	DASQUA 0-12.7MM/0.001MM	TC - 09758 - 2022

☎ 01 323 9468

☎ 938 385 323 / 980 668 072 / 927 526 207

📍 JR. Andahuaylas N°477

San Martín de Porres - Lima

RUC: 20603356781

www.terraservicelaboratorioperu.com



5. Condiciones ambientales

	Inicial	Final
Temperatura	13.0	12.0
Humedad Relativa	56%	56%

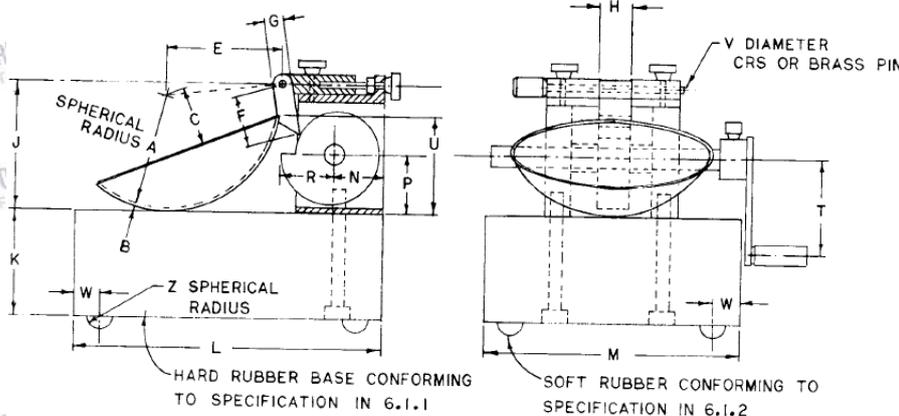
6. Resultados de medición

CONJUNTO DE LA CASUELA									
Dimensiones (ASTM D4318)	A			B			C		
Descripción	Radio de la copa			Espesor de la copa			Profundidad de la copa		
Medida (mm)	54			2			27		
Tolerancia (mm)	± 0,5			± 0,1			± 0,5		
medidas del equipo (mm)	55.31	55.31	55.31	21.10	2.10	2.10	29.16	29.16	29.16
Promedio (mm)	55.31			8.4			29.16		
Insertidumbre absoluta (mm)	0.00			10.97			0.00		

DIMENSIONS

LETTER	A ^Δ	B ^Δ	C ^Δ	E ^Δ	F	G	H	J ^Δ	K ^Δ	L ^Δ	M ^Δ
MM	54 ± 0.5	2 ± 0.1	27 ± 0.5	56 ± 2.0	32	10	16	60 ± 1.0	50 ± 2.0	150 ± 2.0	125 ± 2.0
LETTER	N	P	R	T	U ^Δ	V	W	Z			
MM	24	28	24	45	47 ± 1.0	3.8	13	6.5			

^Δ ESSENTIAL DIMENSIONS



CAM ANGLE DEGREES	CAM RADIUS
0	0.742 R
30	0.753 R
60	0.764 R
90	0.773 R
120	0.784 R
150	0.796 R
180	0.818 R
210	0.854 R
240	0.901 R
270	0.945 R
300	0.974 R
330	0.995 R
360	1.000 R

FIG. 1 Hand-Operated Liquid Limit Device

Figura 1: ASTM D4318



BASE												
Dimensiones (ASTM D4318)	U			K			L			M		
Descripción	Medida desde el hombro de la copa hasta la base			Espesor			Largo			Ancho		
Medida (mm)	47			50			150			125		
Tolerancia (mm)	+ - 1,0			+ - 2,0			+ - 2,0			+ - 2,0		
Medida del Equipo (mm)	38.20	38.20	38.20	50.00	50.00	49.50	150.00	150.00	150.00	123.00	122.50	123.00
Promedio (mm)	38.20			49.83			150.00			122.83		
Insertidumbre absoluta (mm)	0.00			0.29			0.00			0.29		

Dimensiones (ASTM D4318)	DESGASTES						PESO DE COPA (g)		
	Copa (mm)			Diámetro Base (mm)					
Medida	2			< 10			200		
Tolerancia	+ - 0.1			+ - 0.0			+ - 15,0		
Medida del Equipo	2.03	1.99	1.98	3.70	4.00	4.00	207.00	207.00	207.00
Promedio	2.00			3.90			207.00		
ΔX	0.03			0.17			0		

TERRASERVICE LABORATORIO PERÚ S.R.L.

 Juan Wisley Diaz Alvarado
 GERENTE GENERAL





ENSAYO DE RESILIENCIA (%)			
ENSAYO	77	78	78
PROMEDIO	77.67		
ΔX	0.58		

*LA RESILIENCIA DE REBOTE DEBE ENCONTRARSE EN EL RANGO DE 77% A 90%

ENSAYO DE DUREZA (SHORE TIPO A)			
ENSAYO	54	54	55
PROMEDIO	54		
ΔX	0.58		

* SHORE TIPO A ES LA DUREZA DEL PIE DE GOMA (SOPORTA LA BASE) NO MAYOR A 60.

ENSAYO DE DUREZA (SHORE TIPO D)			
ENSAYO	89	88	88
PROMEDIO	88		
ΔX	0.58		

* SHORE TIPO D ES LA DUREZA DE LA BASE QUE COMPRENDE SU DUREZA DE 80 A 90.

CUADRO DE RESUMEN	CUMPLE	NO CUMPLE
RESILIENCIA %	X	
DUREZA TIPO A	X	
DUREZA TIPO D	X	

7. Conclusión

Del ensayo realizado al equipo Copa Casagrande se concluye que la base de la copa tiene un rebote promedio de 77.67%, la dureza tipo D tiene un valor promedio de 88, el largo promedio de la esta es de 150 mm, asimismo la dureza tipo A tiene un valor de 54. De igual manera, se tomaron medidas a la copa y se determinó que el espesor, radio y profundidad promedio no superan los límites superiores de la norma, y el desgaste promedio se encuentra dentro del límite con un valor de 2.0 mm. Por ello, se concluye que el equipo Copa Casagrande si cumple con las indicaciones de la norma ASTM D4318 para realizar los ensayos de límite líquido.

01 323 9468

938 385 323 / 980 668 072 / 927 526 207

JR. Andahuaylas N°477

San Martín de Porres - Lima

RUC: 20603356781

www.terraservicelaboratorioperu.com



CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN N° LMS -3102 - 2022

Expediente : TLPS-00191022-100025

Fecha de Emisión : 20/10/2022

1. Solicitante : KAOLYN INGENIEROS S.A.C

RUC : 20529476931

2. Instrumento de Medición : Balanza

Marca : OHAUS

Modelo : TAJ602

Número de serie : B516851849

Alcance de Indicación : 600g

Division de Escala de : 0.01g

Division de Escala Real (d) : 0.01g

Procedencia : USA

Identificacion : NO INDICA

Tipo : ELECTRÓNICA

3. Método de Calibración

La calibración se realizó mediante el método de comparación según el PC-011 4ra Edición, 2010; Procedimiento para la calibración de Balanzas de Funcionamiento no Automático Clase I Y II de INACAL-DMI.

4. Lugar de Calibración

Lugar : JR. PARAISO 120 URB.COLUMNBO CAJAMARCA-CAJAMARCA-CAJAMARCA

Fecha : 12/10/2022

La incertidumbre reportada en el presente certificado es la incertidumbre expandida de medición que resulta de multiplicar la incertidumbre estándar por el factor de cobertura $k=2$. La incertidumbre fue determinada según la "Guía para Expresión de la incertidumbre en la medición". Generalmente, el valor de la magnitud está dentro del intervalo de los valores de terminados con la incertidumbre expandida con una probabilidad de aproximadamente 95%.

Los resultados son válidos en el momento y en las condiciones en que se realizaron las mediciones y no debe ser utilizado como certificado de conformidad con normas de productos o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

Al solicitante le corresponde disponer en su momento la ejecución de una recalibración, la cual está en función del uso, conservación y mantenimiento del instrumento de medición o a reglamentaciones vigentes.

TERRASERVICE LABORATORIO PERÚ S.R.L no se responsabiliza de los prejuicios que pueda ocasionar el uso inadecuado de este instrumento, ni de una incorrecta interpretación de los resultados de la calibración aquí declarados.

☎ 01 323 9468

☎ 938 385 323 / 980 668 072 / 927 526 207

📍 JR. Andahuaylas N°477

San Martín de Porres - Lima

RUC: 20603356781

www.terraservicelaboratorioperu.com

TERRASERVICE LABORATORIO PERÚ S.R.L.
Iben Wissley Diaz Alvarado
GERENTE GENERAL



5. Condiciones Ambientales

	Inicial	Final
Temperatura	22.6	23
Humedad Relativa	52%	52%

6. Trazabilidad

Este certificado de calibración documenta la trazabilidad a los patrones nacionales, que realizan unidades de medida de acuerdo con el Sistema Internacional de Unidades (SI).

Trazabilidad	Patrón utilizado	Certificado de Calibración
OIML	PESAS PATRÓN CLASE F1 1mg - 5 kg	WJ - 7737

7. Observaciones

Los errores maximos permitidos (e.m.p) para esta balanza corresponden a los e.m.p para balanzas en uso de funcionamiento no automático de clase de exactitud II, según la Norma Metroológica Peruana 003 - 2009. Instrumentos de Pesaje de Funcionamiento no Automatico.

Se coloco una etiqueta autoadhesiva de color verde con la indicación de "CALIBRADO".

Los resultados de este certificado de calibración no deben ser utilizado como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

8. Resultados de Medición

INSPECCIÓN VISUAL			
AJUSTE DE CERO	TIENE	ESCALA	TIENE
OSCILACIÓN LIBRE	TIENE	CURSOR	TIENE
PLATAFORMA	TIENE	SIST. DE TRABA	TIENE
NIVELACIÓN	TIENE		

ENSAYO DE REPETIBILIDAD

Medicion N°	Carga L1 = 300,00 g			Carga L2 = 600,00 g		
	l (g)	ΔL (mg)	E (mg)	l (g)	ΔL (mg)	E(mg)
1	300.00	3	2.00	600.01	5	10.00
2	300.00	6	-1.00	600.01	9	6.00
3	300.00	8	-3.00	600.01	4	11.00
4	300.00	8	-3.00	600.01	4	11.00
5	300.01	4	11.00	600.01	5	10.00
6	300.00	5	0.00	600.00	7	-2.00
7	300.00	8	-3.00	600.00	5	0.00
8	300.00	9	-4.00	600.00	8	-3.00
9	300.00	8	-3.00	600.00	8	-3.00
10	300.01	5	10.00	600.00	9	-4.00
Diferencia Maxima			15.00			14.00
Error max permitido ±	30 mg			± 30 mg		



Vista frontal

ENSAYO DE EXCENTRICIDAD

Posición de la Carga	Determinación de E ₀				Determinación de Error corregido				Ec (mg)
	Carga mínima (g)	l (g)	ΔL (mg)	E ₀ (mg)	Carga (g)	l (g)	ΔL (mg)	E(mg)	
1.00	0.10	0.1	5	0	200.00	200	6	9	9
2.00		0.1	8	-3		200	5	-10	-7
3.00		0.1	7	-2		200	7	-2	0
4.00		0.1	5	0		200	5	10	10
5.00		0.1	6	-1		200	7	-2	-1
(*) valor entre 0 y 10 e = 0.10 g					Error máximo permitido: ± 20 mg				

ENSAYO DE PESAJE

Carga L (g)	CRECIENTES				DECRECIENTES				emp (**) ±(mg)
	l (g)	ΔL (mg)	E (mg)	Ec (g)	l (g)	ΔL (mg)	E (mg)	Ec (mg)	
0.10	0.10	9	-4						10
0.20	0.20	7	-2	2	0.20	6	-1	0	10
1.00	1.00	5	0	4	1.00	8	-3	-2	10
20.00	20.00	6	-1	3	20.00	5	0	1	10
50.00	50.00	5	0	4	50.01	4	11	12	10
70.00	70.00	6	-1	3	70.00	6	-1	0	20
100.00	100.00	2	3	7	100.01	3	12	13	20
150.00	150.00	5	0	4	150.00	8	-3	-2	20
200.00	200.00	7	-2	2	199.99	5	-10	-9	30
400.00	400.00	5	0	4	400.00	5	0	1	30
600.00	600.00	7	-2	2	599.99	8	-13	-12	30

Lectura corregida e incertidumbre expandida del resultado de una pesada

$$R_{\text{corregida}} = R - 0,0000709 \times R$$

$$U_R = \sqrt{0,000193 \text{ g}^2 + 0,0000000373 \times R^2}$$

R: Δ
Lectura de
Balanza

R: Lectura de Balanza Δ L: Carga Incrementada E: Error Encontrado E₀: Error en Cero E_c: Error Corregido





CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN N° LMS- 4113- 2022

Expediente : TLPS-00191022-100025

Fecha de Emisión : 20/10/2022

1. Solicitante : KAOLYN INGENIEROS S.A.C

RUC : 20529476931

2. Instrumento de medición : BALANZA

Marca : KASO

Modelo : YK3208

Número de serie : NO INDICA

Alcance de Indicación : 30 kg

Division de Escala de Verificación (e) : 1 g

Division de Escala Real (d) : 1g

Procedencia : CHINA

Identificación : NO INDICA

Tipo : ELECTRÓNICA

3. Método de Calibración

El estudio se realizó mediante el método de comparación según el PC-011 4ra Edición, 2010; procedimiento para la calibración de Balanzas de Funcionamiento no Automático Clase I Y II de INACAL-DMI.

4. Lugar y fecha de Calibración

Lugar : JR. PARAISO 120 URB.COLUMNBO, CAJAMARCA.

Fecha : 12/10/2022

La incertidumbre reportada en el presente certificado es la incertidumbre expandida de medición que resulta de multiplicar la incertidumbre estándar por el factor de cobertura $k=2$. La incertidumbre fue determinada según la "Guía para Expresión de la incertidumbre en la medición". Generalmente, el valor de la magnitud está dentro del intervalo de los valores de terminados con la incertidumbre expandida con una probabilidad de aproximadamente 95%.

Los resultados son válidos en el momento y en las condiciones en que se realizaron las mediciones y no debe ser utilizado como certificado de conformidad con normas de productos o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

Al solicitante le corresponde disponer en su momento la ejecución de una recalibración, la cual está en función del uso, conservación y mantenimiento del instrumento de medición o a reglamentaciones vigentes.

TERRASERVICE LABORATORIO PERÚ S.R.L no se responsabiliza de los prejuicios que pueda ocasionar el uso inadecuado de este instrumento, ni de una incorrecta interpretación de los resultados de la calibración aquí declarados.

☎ 01 323 9468

📠 938 385 323 / 980 668 072 / 927 526 207

📍 JR. Andahuaylas N°477

San Martín de Porres - Lima

RUC: 20603356781

www.terraservicelaboratorioperu.com

110

TERRASERVICE LABORATORIO PERÚ S.R.L.
Jhonn Wisley Díaz Alvarado
GERENTE GENERAL



5. Condiciones Ambientales

	Inicial	Final
Temperatura	21.1	22.3
Humedad Relativa	57%	56%

6. Trazabilidad

Este certificado de calibración documenta la trazabilidad a los patrones nacionales, que realizan unidades de medida de acuerdo con el Sistema Internacional de Unidades (SI).

Trazabilidad	Patrón utilizado	Certificado de Calibración
OIML	PESAS PATRÓN CLASE F1 DE 1mg a 5kg	WJ - 7737 / LM- 172
INACAL	PESA PATRON CLASE M2 10kg	065-CM-M-2022
INACAL	PESA PATRON CLASE M2 20kg	066-CM-M-2022

7. Observaciones

Los errores máximos permitidos (e.m.p) para esta balanza corresponden a los e.m.p para balanzas en uso de funcionamiento no automático de clase de exactitud II, según la Norma Metrológica Peruana 003 - 2009. Instrumentos de Pesaje de Funcionamiento no Automático.

Se colocó una etiqueta autoadhesiva de color verde con la indicación de "CALIBRADO".

Los resultados de este certificado de calibración no deben ser utilizado como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

8. Resultados de Medición

INSPECCIÓN VISUAL			
AJUSTE DE CERO	TIENE	ESCALA	NO TIENE
OSCILACIÓN LIBRE	TIENE	CURSOR	NO TIENE
PLATAFORMA	TIENE	SIST. DE TRABA	NO TIENE
NIVELACIÓN	TIENE		

ENSAYO DE REPETIBILIDAD

Medición N°	Carga L1 = 15000,0 g			Carga L2 = 30000,0 g		
	l (g)	ΔL (g)	E (g)	l (g)	ΔL (g)	E(g)
1	15000	0.8	-0.3	30001	0.7	0.8
2	15000	0.5	0.0	30000	0.8	-0.3
3	15000	0.5	0.0	30000	0.8	-0.3
4	15000	0.7	-0.2	30001	0.7	0.8
5	15000	0.8	-0.3	30000	0.6	-0.1
6	15001	0.6	0.9	30000	0.5	0.0
7	15000	0.7	-0.2	30000	0.6	-0.1
8	15000	0.5	0.0	30000	0.9	-0.4
9	15000	0.6	-0.1	30001	0.9	0.6
10	15001	0.6	0.9	30000	0.7	-0.2
Diferencia Máxima			1.2			1.2
Error max permitido ±	2 g		3,0 g	±		3 g



Vista frontal

ENSAYO DE EXCENTRICIDAD

Posición de la Carga	Determinación de E ₀			Determinación del error corregido			Ec (g)		
	Carga mínima (g)	l (g)	ΔL (g)	E ₀ (g)	Carga (g)	l (g)		ΔL (g)	E(g)
1	10	10	0.9	-0.40	10000	10000	0.7	-0.2	0.20
2		10	0.8	-0.30		10000	0.9	-0.4	-0.10
3		10	0.6	-0.10		10000	0.7	-0.2	-0.10
4		10	0.7	-0.20		10001	0.5	1.0	1.20
5		10	0.7	-0.20		10000	0.9	-0.4	-0.20

(*) valor entre 0 y 10 e

Error máximo permitido: ± 2 g

ENSAYO DE PESAJE

Carga L (g)	CRECIENTES				DECRECIENTES				emp (**) ±(g)
	l (g)	ΔL (g)	E (g)	Ec (g)	l (g)	ΔL (g)	E (g)	Ec (g)	
10	10	0.8	-0.3						1
50	50	0.8	-0.3	0.0	50	0.4	0.1	0.0	1
100	100	0.7	-0.2	0.1	100	0.7	-0.2	-0.3	1
500	500	0.7	-0.2	0.1	500	0.6	-0.1	-0.2	1
1000	1000	0.5	0.0	0.3	1000	0.7	-0.2	-0.3	1
5000	5000	0.8	-0.3	0.0	5001	0.8	0.7	0.6	1
10000	10000	0.9	-0.4	-0.1	10000	0.8	-0.3	-0.4	2
15000	15001	0.5	1.0	1.3	15001	0.6	0.9	0.8	2
20000	20000	0.7	-0.2	0.1	20000	0.5	0.0	-0.1	2
25000	25000	0.5	0.0	0.3	25000	0.9	-0.4	-0.5	3
30000	30000	0.4	0.1	0.4	30001	0.6	0.9	0.8	3

Lectura corregida e incertidumbre expandida del resultado de una pesada

$$R_{\text{corregida}} = R - 0,00000390 \times R$$

$$U_R = \sqrt{0,440 \text{ g}^2 + 0,0000000342 \times R^2}$$

R: Δ Lectura de Balanza

R: Lectura de Balanza

Δ L: Carga Incrementada

E: Error Encontrado

E₀: Error en Cero

E_c: Error Corregido

☎ 01 323 9468

📠 938 385 323 / 980 668 072 / 927 526 207

📍 JR. Andahuaylas N°477

San Martín de Porres - Lima

RUC: 20603356781

www.terraservicelaboratorioperu.com

112

TERRASERVICE LABORATORIO PERÚ S.R.L.

Juan Wislesley Diaz Alvarado
GERENTE GENERAL



CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN N° SCH - 495 - 2022

Expediente : TLPS-00191022-100025

Fecha de emisión : 20/10/2022

1. Solicitante : KAOLYN INGENIEROS S.A.C

RUC : 20529476931

2. Instrumentos de Medición : HORNO

Indicación : ELÉCTRICO

Marca del Equipo : KAIZA CORP

Modelo del Equipo : NO INDICA

Número de serie : 190506

Capacidad del Equipo : 76L

Marca del indicador : AUTCOMP

Modelo de indicador : NO INDICA

Temperatura Calibrada : 110°C ± 5 °C

3. Lugar y fecha de Calibración

Lugar : JR. PARAISO 120 URB.COLUMNBO, CAJAMARCA

Fecha : 12/10/2022

4. Método de Calibración

La calibración se efectuó por comparación con termopares y termómetro multicanal calibrados, de acuerdo al "Procedimiento para la calibración o caracterización de medios isotermos con aire como medio termostático" PC-018 - INDECOPI - 2° Edición - Junio 2009.

5. Trazabilidad

Instrumento	Marca	Certificado	Trazabilidad
TERMÓMETRO DIGITAL	JINKO	E200922130001-1	CNAS

6. Condiciones Ambientales

Magnitudes	Inicial	Final
Temperatura °C	35.5	35
Humedad %	23%	24%

Los resultados del presente certificado son válidos en el momento y en las condiciones en que se realizaron las mediciones y no debe ser utilizado como certificado de conformidad con normas de productos o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

Al solicitante le corresponde disponer en su momento la ejecución de una recalibración, la cual está en función del uso, conservación y mantenimiento del instrumento de medición o a reglamentaciones vigentes.

TERRASERVICE LABORATORIO PERÚ S.R.L no se responsabiliza de los prejuicios que pueda ocasionar el uso inadecuado de este instrumento, ni de una incorrecta interpretación de los resultados de la calibración declarados en el presente documento.

7. Resultados de medición

El horno se encuentra dentro de los rangos 110°C ± 5 °C para la realización de los ensayos de laboratorio según la norma ASTM.

CALIBRACIÓN PARA 110°C

Tiempo (min)	Ind (°C) Temperatura del equipo	TEMPERATURA EN LAS DOS POSICIONES DE MEDICIÓN (°C)								T. prom. (°C)	ΔTmax. - Tmin (°C)
		NIVEL INFERIOR				NIVEL SUPERIOR					
		1	2	3	4	5	6	7	8		
01	110.0	107.10	106.70	105.60	108.60	113.40	111.20	126.40	109.60	111.08	20.80
02	110.0	107.20	106.50	105.60	108.90	113.70	111.30	126.70	109.60	111.19	21.10
03	110.0	107.10	106.50	105.50	108.40	113.40	111.00	123.10	110.40	110.68	17.60
04	110.0	107.70	106.70	106.20	108.50	113.80	111.10	126.70	110.90	111.45	20.50
05	110.0	107.70	107.10	106.30	109.60	113.10	110.80	127.00	111.00	111.58	20.70
06	110.0	107.50	106.70	105.70	108.90	113.30	110.80	124.00	112.20	111.14	18.30
07	110.0	107.40	106.60	105.90	108.90	113.10	110.70	123.80	112.10	111.06	17.90
08	110.0	107.60	106.70	106.00	108.30	113.60	110.70	123.60	111.40	110.99	17.60
09	110.0	107.40	106.70	105.90	108.90	113.50	111.00	125.10	111.10	111.20	19.20
10	110.0	107.40	107.20	105.80	108.80	113.20	111.00	125.60	109.90	111.11	19.80
11	110.0	107.20	106.90	105.50	108.50	113.70	111.50	126.20	109.60	111.14	20.70
12	110.0	107.20	106.60	105.90	108.60	112.80	110.50	124.50	111.00	110.89	18.60
13	110.0	107.00	106.30	105.50	108.60	113.30	110.80	125.20	110.60	110.91	19.70
14	110.0	107.20	106.50	105.80	109.00	113.30	111.00	125.50	110.10	111.05	19.70
15	110.0	107.40	106.50	106.10	109.40	112.40	110.30	121.50	111.80	110.68	15.40
16	110.0	107.30	106.90	105.90	108.80	113.60	111.80	126.20	109.70	111.28	20.30
17	110.0	107.40	107.00	106.00	108.90	112.80	110.60	126.20	110.40	111.16	20.20
18	110.0	107.50	107.20	105.80	109.10	113.60	111.00	126.30	110.40	111.36	20.50
19	110.0	107.60	107.00	106.10	109.10	113.80	111.30	126.30	110.30	111.44	20.20
20	110.0	107.70	107.20	106.20	108.80	113.80	111.40	126.50	110.00	111.45	20.30
21	110.0	107.70	107.20	106.30	109.50	113.30	111.10	126.00	110.80	111.49	19.70
22	110.0	107.30	107.00	105.90	109.00	113.60	111.30	126.30	110.20	111.33	20.40
23	110.0	107.20	106.70	105.70	109.00	113.70	111.40	124.30	109.60	110.95	18.60
24	110.0	107.30	106.80	106.00	109.00	113.40	111.30	126.70	109.90	111.30	20.70
25	110.0	107.30	106.50	105.80	108.50	113.60	111.30	125.30	110.20	111.06	19.50
26	110.0	107.30	107.00	106.00	108.50	113.40	111.00	125.20	110.20	111.08	19.20
27	110.0	107.60	106.90	106.30	109.20	113.60	111.20	126.90	110.10	111.48	20.60
28	110.0	107.50	107.00	106.20	109.60	113.30	110.70	124.00	111.40	111.21	17.80
29	110.0	107.60	107.40	106.20	109.90	113.40	111.40	125.90	110.40	111.53	19.70
30	110.0	107.80	107.10	106.10	109.40	113.70	111.70	126.90	110.10	111.60	20.80
31	110.0	107.80	107.20	106.30	109.80	113.40	110.70	125.40	111.90	111.56	19.10
32	110.0	107.50	107.00	106.10	109.00	113.40	111.30	124.70	110.50	111.19	18.60
33	110.0	107.50	107.00	106.30	109.20	113.70	111.20	125.40	110.80	111.39	19.10
34	110.0	107.30	106.80	105.90	108.90	113.30	110.80	125.20	110.30	111.06	19.30
35	110.0	107.40	106.60	106.30	108.90	113.40	110.90	126.50	110.80	111.35	20.20
36	110.0	107.40	107.00	106.10	109.10	113.60	111.70	126.30	110.20	111.43	20.20
37	110.0	107.60	107.00	106.10	109.30	113.50	111.20	126.50	110.20	111.43	20.40
38	110.0	107.80	106.90	106.30	109.10	113.60	111.60	125.40	110.80	111.44	19.10
39	110.0	107.70	107.10	106.40	108.80	113.60	111.10	124.10	111.60	111.30	17.70
40	110.0	107.80	107.10	106.50	110.20	113.40	111.20	126.40	111.80	111.80	19.90

☎ 01 323 9468

☎ 938 385 323 / 980 668 072 / 927 526 207

📍 JR. Andahuaylas N°477

San Martín de Porres - Lima

RUC: 20603356781

www.terraservicelaboratorioperu.com

TERRASERVICE LABORATORIO PERÚ S.R.L.

 Jhon Wissley Diaz Alvarado
 GERENTE GENERAL



40	110.0	107.60	107.10	106.30	109.30	113.70	111.20	126.70	110.90	111.6	20.4
41	110.0	107.80	107.30	106.50	109.70	113.70	111.20	126.90	110.70	111.7	20.4
42	110.0	107.60	106.80	106.30	109.70	113.60	111.30	126.40	111.60	111.7	20.1
43	110.0	107.40	106.90	106.20	108.70	113.40	111.10	125.80	111.50	111.4	19.6
44	110.0	107.20	106.60	105.80	108.60	113.50	111.30	126.20	111.30	111.3	20.4
45	110.0	107.60	107.00	106.20	110.00	113.30	111.30	126.00	111.50	111.6	19.8
46	110.0	107.30	107.00	106.20	109.00	112.70	110.70	126.20	112.00	111.4	20.0
47	110.0	107.50	107.20	106.30	110.20	113.60	111.10	125.90	111.20	111.6	19.6
48	110.0	107.40	107.30	106.00	108.90	114.10	112.20	126.80	109.70	111.6	20.8
49	110.0	107.80	106.80	106.20	108.10	113.90	111.20	126.50	111.10	111.5	20.3
51	110.0	107.80	107.30	106.50	110.30	113.40	111.30	126.30	111.10	111.8	19.8
52	110.0	107.70	107.40	106.20	109.60	113.50	111.40	126.40	111.00	111.7	20.2
53	110.0	107.60	107.00	106.30	109.10	113.90	111.60	125.30	110.70	111.4	19.0
54	110.0	107.50	107.00	106.10	109.40	113.10	111.10	126.10	111.80	111.5	20.0
55	110.0	107.40	106.90	106.30	109.80	113.40	110.70	125.90	111.20	111.5	19.6
56	110.0	107.40	106.90	106.20	108.90	113.50	111.20	125.90	110.90	111.4	19.7
57	110.0	107.50	106.90	106.30	109.20	113.30	111.10	126.60	110.30	111.4	20.3
58	110.0	107.50	106.70	105.90	108.70	113.60	111.40	125.60	109.90	111.2	19.7
59	110.0	107.40	106.90	106.10	109.30	113.40	111.10	125.00	110.50	111.2	18.9
60	110.0	107.50	107.00	106.00	109.10	113.80	112.00	125.80	110.30	111.4	19.8
T. PROM	110.0	107.5	106.9	106.1	109.1	113.5	111.2	125.7	110.7		
T. MAX	110.0	107.8	107.4	106.5	110.3	114.1	112.2	127.0	112.2		
T. MIN	110.0	107.0	106.3	105.5	108.1	112.4	110.3	121.5	109.6		
DTT	0.0	0.8	1.1	1.0	2.2	1.7	1.9	5.5	2.6		

Parámetro	Valor (°C)	Incertidumbre Expandida (°C)
Máxima Temperatura Medida	112.2	6.6
Mínima Temperatura Medida	110.1	5.1
Desviación de Temperatura en el Tiempo	5.5	1.5
Desviación de Temperatura en el Espacio	19.6	5.9
Estabilidad Media (+ O-)	21.1	5.7
Uniformidad	19.6	1.0

Para cada posición de medición su "desviación de temperatura en el tiempo" DTT esta dada por la diferencia entre la máxima y la mínima temperatura registradas en dicha posición certificado y fecha de calibración de la empresa TERRASERVICE LABORATORIO PERÚ SRL promedios de temperatura registradas en ambas posiciones. La incertidumbre expandida de la medición se ha obtenido multiplicando la incertidumbre estándar de la medición por el factor la incertidumbre expandida de la medición se ha obtenido de cobertura k=2 que, para una distribución normal corresponde a una probabilidad de cobertura de aproximadamente 95%. multiplicando la incertidumbre estándar de la medición por el factor

01 323 9468

938 385 323 / 980 668 072 / 927 526 207

JR. Andahuaylas N°477

San Martín de Porres - Lima

RUC: 20603356781

www.terraservicelaboratorioperu.com

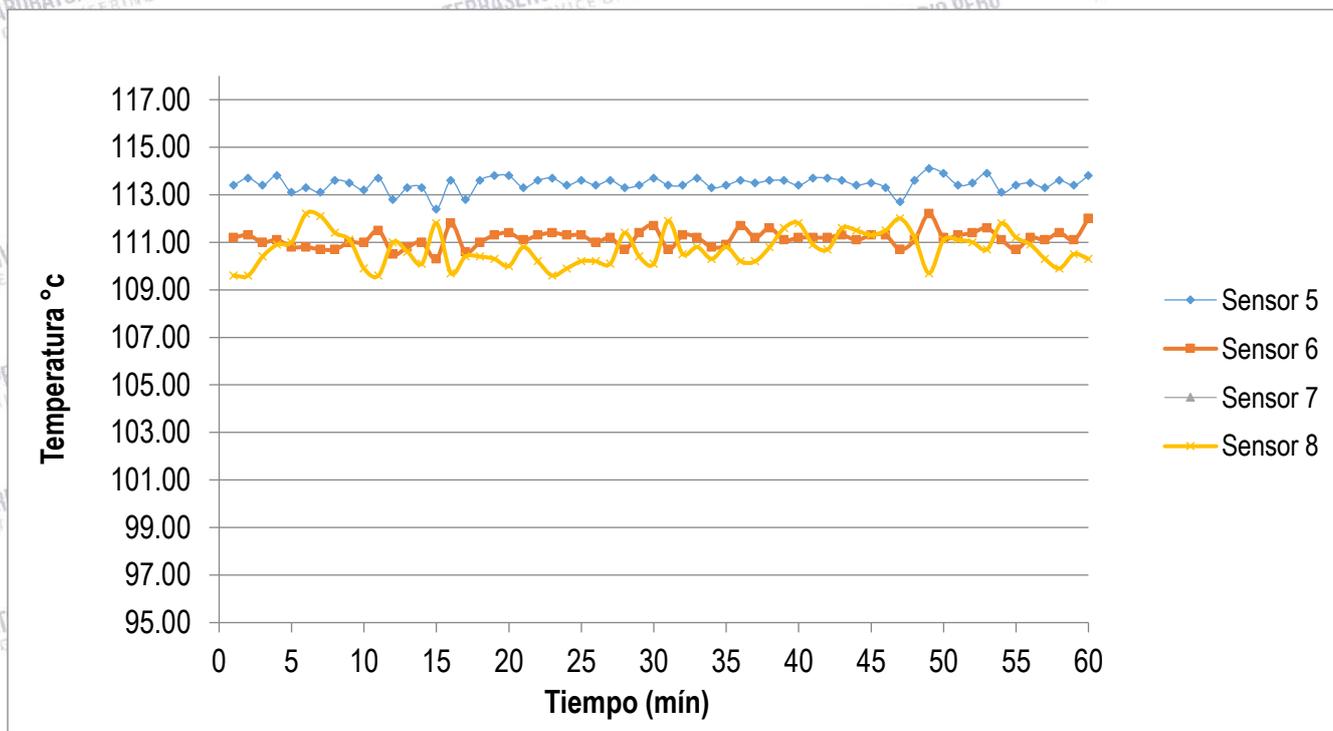
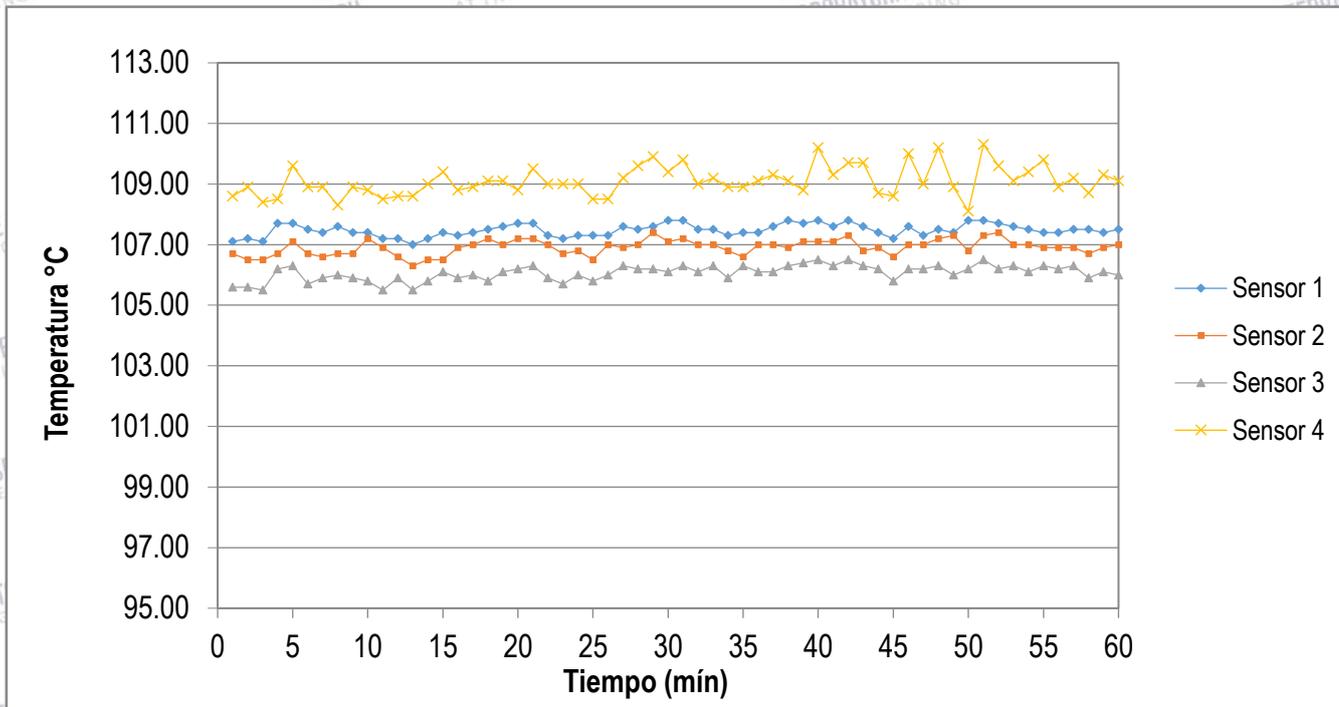
115

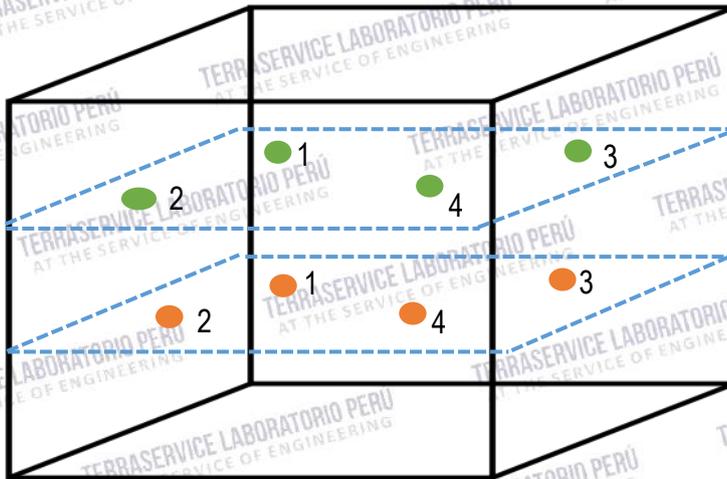
TERRASERVICE LABORATORIO PERÚ S.R.L.

 Jhan Wissley Diaz Alvarado
 GERENTE GENERAL




TEMPERATURA DE TRABAJO 110 °C





Dimensiones internas del equipo:

Ancho : 447 mm

Largo : 445 mm

Alto : 355 mm

- * Los sensores 5 y 10 se ubican sobre sus respectivos niveles.
- * Los demás sensores se ubicaron a 8 cm de las paredes laterales y a 8 cm del fondo y el frente del equipo.
- * Los sensores del nivel superior se ubicaron a 1.5 cm por encima de la altura más alta que emplee el usuario.
- * Los sensores del nivel inferior se ubicaron a 1.5 cm por debajo de la parrilla más baja.

8. Observaciones

Con fines de identificación se ha colocado una etiqueta autoadhesiva de color verde con el número de certificado y fecha de calibración de la empresa TERRASERVICE LABORATORIO PERÚ SRL

FIN DEL DOCUMENTO



CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN

RJ-LF-001-2023

Expediente : 205849
Solicitante : KAOLYN INGENIEROS SAC.
Ruc : 20529476931
Dirección : Jr. PARAÍSO 120

Equipo calibrado : **PRENSA CBR**

Alcance de indicación : 5000 kgf
Marca o (fabricante) : L.V.A
Modelo : NO INDICA
Número de Serie : NO INDICA
Identificación : 020
Procedencia : NO INDICA

Indicador de lectura : DIGITAL

Marca o (fabricante) : HIWEICH
Modelo : 315-X2
Número de serie : 8847516
Identificación : NO INDICA
Procedencia : NO INDICA
Alcance de indicación : 0 kgf A 5000 kgf
Resolución : 0.1 kgf

Transductor de fuerza : TRANSDUCTOR

Alcance de indicación : 5000 kgf
Marca o (fabricante) : NO INDICA
Modelo : F-A-AA
Número de serie : 55U1728

Ubicación del equipo : Instalaciones del cliente

Lugar de Calibración : Jr. Paraíso 120

Fecha de Calibración : 20/12/2022

Fecha de Emisión : 20/12/2022



Método de calibración

La calibración se realizó tomando como referencia el método descrito en la norma ISO 7500-1 / ISO 376, Verificación de máquinas para ensayos uniaxiales estáticos, máquinas de ensayo de tensión / compresión Verificación y calibración del sistema de medición de fuerza.

Trazabilidad

Se utilizaron patrones calibrados con trazabilidad al SI, calibrado por la universidad católica del Perú.

Resultados de medición

lectura de la máquina (fi)		lectura del patrón			promedio	cálculo de errores		incertidumbre
%	kgf	primera	segunda	tercera		exactitud	repetibilidad	
	kgf	kgf	kgf	kgf	kgf	q(%)	b(%)	u(%)
10	500	506.3	506.2	506.2	506.2	-1.2	0.0	0.37
20	1000	1010.5	1010.6	1010.6	1010.6	-1.0	0.0	0.28
30	1500	1511.2	1511.0	1511.0	1511.1	-0.7	0.0	0.26
40	2000	2009.2	2008.2	2008.2	2008.5	-0.4	0.0	0.25
50	2500	2504.2	2505.2	2505.2	2504.9	-0.2	0.0	0.25
60	3000	2999.8	3000.5	3000.5	3000.3	0.0	0.0	0.25
70	3500	3495.6	3496.6	3496.6	3496.3	0.1	0.0	0.24
80	4000	3991.5	3991.5	3991.5	3991.5	0.2	0.0	0.24
90	4500	4488.6	4487.6	4487.6	4487.9	0.3	0.0	0.24
100	5000	4988.6	4988.5	4988.5	4988.5	0.2	0.0	0.24
lectura máquina en cero		0	0	0	0	0	error máx. de cero (0)=0.00

Temperatura promedio durante los ensayos 20.6 variación de temperatura en cada ensayo <2 °C.

Evaluación de los resultados

Los errores encontrados entre el 20% y el 100% del rango nominal considerado no superan valores máximos permitidos establecidos en la norma ISO 7500-1.

Observaciones

- Se colocó una etiqueta autoadhesiva con la indicación de "CALIBRADO"
- La incertidumbre de medición se ha obtenido multiplicando la incertidumbre estándar de la medición por el factor de cobertura $k=2$ para una distribución normal de aproximadamente 95%.




Ricardo Javier Ocas Boñón
INGENIERO CIVIL
CIP Nº 129863

JEFE DE LABORATORIO
RUC: 10418379478

ANEXO 4: FICHAS TÉCNICAS

Ficha Técnica: Cal de Obra “HADES”

Sku Promart: 16861

Sku Proveedor: KRL27

Departamento: Agregados

Descripción del Producto: Cal de Obra bolsa x 2 kg.

**1. COMPOSICIÓN/ INFORMACIÓN SOBRE COMPONENTES**

- . Composición: Hidróxido de calcio 10 – 12 %
- . Uso: Se utiliza principalmente para EL TRATADO DE LA TIERRA COMO BASE PARA LA CONSTRUCCION, y en el tratamiento de las materias orgánicas de silos, y similares como son los rellenos sanitarios.

2. CLASIFICACIÓN DE RIESGO**Peligros para la salud humana**

- . Inhalación: Inhalar habitualmente grandes cantidades de polvo inerte, como el de la cal, durante largos periodos de tiempo, aumenta el riesgo de desarrollar enfermedades pulmonares.
- . Piel: La cal de obra, en caso de un contacto prolongado sin la protección adecuada, puede tener un efecto irritante sobre la piel húmeda (debido a la transpiración o a la humedad del ambiente). El contacto prolongado, sin la protección adecuada, con la cal de obra seco, puede provocar otros efectos cutáneos como agrietamiento o quemaduras por alcalinidad sin síntomas previos. Un contacto excesivamente prolongado y repetitivo del cemento húmedo pastado con la piel podría causar dermatitis de contacto.
- . Ojos: El contacto directo de la cal de obra (húmedo o seco) con los ojos sin la protección adecuada, puede provocar lesiones graves y potencialmente irreversibles.

3. EMERGENCIA Y PRIMEROS AUXILIOS

- . Inhalación: Trasladar a la persona a un sitio donde pueda respirar aire fresco. Beber agua para limpiar la garganta y sonarse la nariz para eliminar el polvo. Buscar asistencia médica si los síntomas persisten.
- . Piel: Si la cal de obra está seca, eliminar el máximo posible y después lavar abundantemente con agua. Si la cal de obra está húmeda, lavar abundantemente con agua. Quitar y lavar a fondo las prendas, calzado, relojes, etc., manchados antes de volver a utilizarlos. Solicitar asistencia médica siempre que se produzca irritación o quemadura cáustica.
- . Ojos: No frotarse los ojos para evitar daños de la córnea. Enjuagar inmediatamente con abundante agua (si es posible usar suero fisiológico 0,9% NaCl), para eliminar todas las partículas y consultar a un oftalmólogo.
- . Ingestión: No provocar el vómito. Si la persona está consciente, enjuagar la boca para eliminar el material o polvo, darle de beber abundante agua y consultar inmediatamente a un médico.



PARA CONTRUCCIONES CON ACABADOS PERFECTOS



Cemento Nacional Tipo ICo - SÚPER TRABAJABILIDAD, es un cemento Portland diseñado para su uso en todo tipo de estructuras y construcciones en general que no presenten requerimientos especiales. Presenta excelente resistencia a la compresión en el tiempo, otorgando una buena trabajabilidad y excelentes acabados.

Su composición contiene las proporciones adecuadas de clinker, yeso y adiciones especiales (caliza); materias primas, que cumplen con los más estrictos controles de calidad para obtener un excelente producto final, el cual cumple con las exigencias especificadas según NTP 334.090 y ASTM C-595.

PRESENTACIÓN

- Bolsa de 42.5 Kg.
- Despacho a granel en big bag de 1 a 1.5 Tm o en bombonas.

USOS Y APLICACIONES

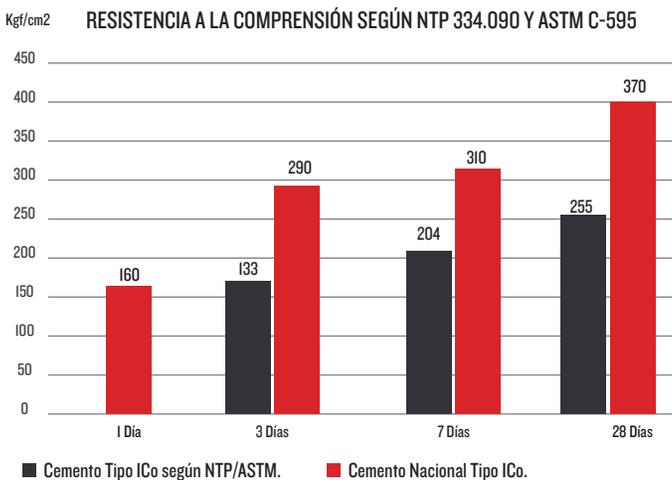
- Para obras de construcción en general cuando no se especifique un tipo de cemento especial.
- Para preparación de hormigones o concretos aligerados de elementos no estructurales.
- En morteros para asentado de ladrillos, tarrajeos de paredes exteriores e interiores con finos acabados.

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS

DESCRIPCIÓN	CEMENTO NACIONAL TIPO ICo	CEMENTO TIPO ICo según NTP 334.090 ASTM C-595
Contenido de aire. Max. % Superficie específica - Blaine (cm ² /g). Mín. Densidad (gr/cm ³). Expansión en autoclave %.	9 4300 2.94 0.03	12 máx. NE NE 0.8 máx.
Resistencia a la compresión Kg/cm ² . 1 Día 3 Días 7 Días 28 Días	160 290 310 370	NE 133 mín. 204 mín. 255 mín.
Tiempo de fraguado Vicat. Minutos. Inicial Final	140 270	45 mín. 420 máx.
Expansión en barra morteros 14 días. Método ASTM C-1038.	0.011	0.02 máx.

El Cemento Nacional Tipo ICo - SÚPER TRABAJABILIDAD, garantiza un buen desarrollo de resistencias iniciales, de acuerdo a la información mencionada.

CUADRO COMPARATIVO DE RESISTENCIAS



RECOMENDACIONES EN MODO DE EMPLEO



VENTAJAS

Extra resistencia a la compresión:

Es usado en diferentes aplicaciones de concreto, ya que presenta un buen desarrollo de sus resistencias a la compresión a edades iniciales.

Excelente trabajabilidad y plasticidad:

Debido a la buena selección de nuestras materias primas, mejora su trabajabilidad otorgando buenos acabados y minimizando el ingreso de agentes externos.

Moderada resistencia al ataque de los sulfatos y cloruros:

Debido al uso correcto de materias primas seleccionadas y una adecuada formulación, nos permite obtener una protección moderada al ataque de los sulfatos y a otros agentes nocivos.

ALMACENAMIENTO Y MANIPULACIÓN

- Almacenar las bolsas en un lugar seco y techado, evitando el contacto con la humedad del ambiente, separadas de paredes y pisos (con espacios mínimos de 10 cm), manteniéndolas bien cerradas y de preferencia protegidas con plástico.
- No almacenar por tiempos prolongados, siendo su almacenamiento máximo de 30 días. Esto, gracias a la particularidad de su pliego de plástico intermedio que tiene el diseño de su bolsa, que le otorga una mayor duración.
- Para evitar la compactación, apilarlas en 10 bolsas como máximo.

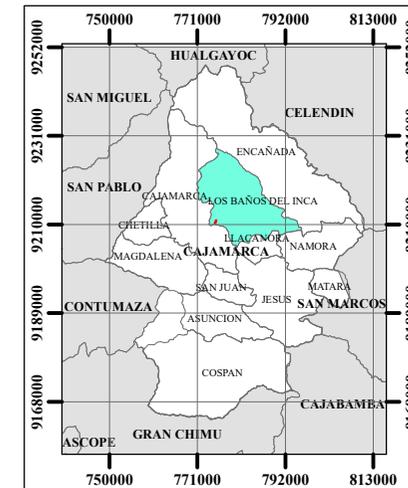
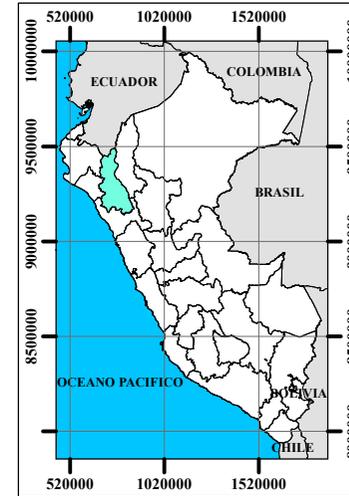
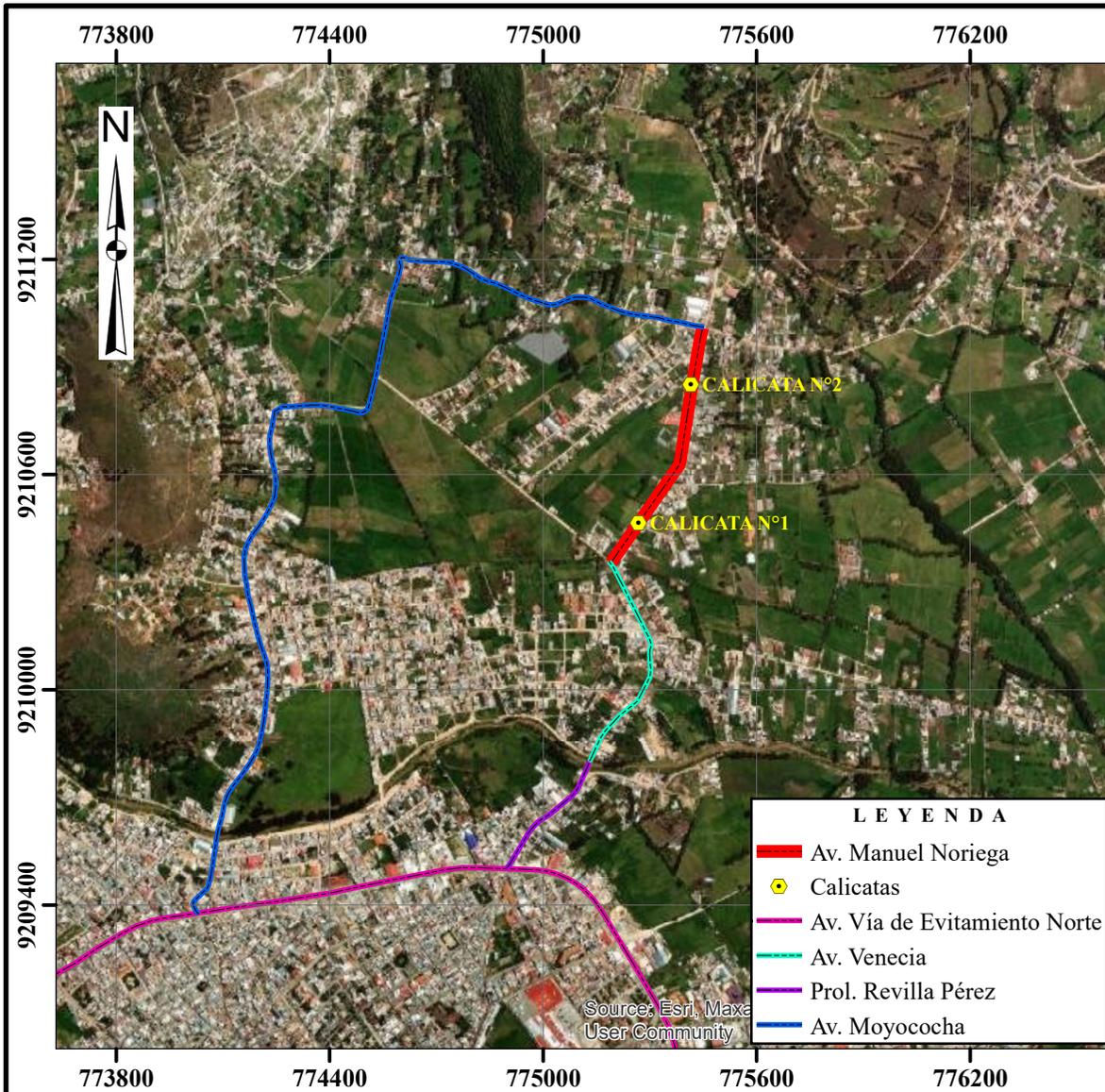
RECOMENDACIONES DE SEGURIDAD

- Durante su manipulación utilizar equipo de protección personal (mascarilla, guantes, botas, casco, anteojos, etc.).



- El contacto directo con el producto seco o hidratado, puede causar irritación en la piel y los ojos. Evitar su contacto, en caso de haberse dado, lavarse con abundante agua y acudir a un médico.
- Manténganse fuera del alcance de los niños.

ANEXO 5: PLANO DE UBICACIÓN



ESTE	NORTE	COTA	OBSER.
775228.12	9210413.29	2704	CALICATA N°1
775415.32	9210851.10	2705	CALICATA N°2



REGIÓN: CAJAMARCA

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA

Escuela Profesional de Ingeniería Civil

PLANO: UBICACIÓN
 AVENIDA: MANUEL NORIEGA
 AUTOR: BACH. BRINER VÁSQUEZ SILVA
 ESCALA: 1:20,000

PROVINCIA: CAJAMARCA DISTRITO: BAÑOS DEL INCA

TEMA:

"ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE LA COMBINACIÓN DE CAL Y CEMENTO PORTLAND TIPO I C₆ COMO ADITIVO EN LAS PROPIEDADES FÍSICO - MECÁNICAS DE LA SUBRASANTE DE LA AV. MANUEL NORIEGA EN CAJAMARCA, 2022"

CÓDIGO:

PU