

UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN

Facultad de Ingeniería Civil, Arquitectura y Geotecnia

Escuela Profesional de Ingeniería Civil

**ANÁLISIS DE ESTABILIZACIÓN DE SUELOS CON CEMENTO
EN CAMINOS VECINALES DEL DISTRITO
DE POCOLLAY-TACNA**

TESIS

Presentada por:

Bach. Franco Bahia Jaillita Mamani

Para optar el Título Profesional de:

INGENIERO CIVIL

TACNA – PERÚ

2023

UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN

Facultad de Ingeniería Civil, Arquitectura y Geotecnia

Escuela Profesional de Ingeniería Civil

“ANÁLISIS DE ESTABILIZACIÓN DE SUELOS CON CEMENTO EN
CAMINOS VECINALES DEL DISTRITO DE POCOLLAY - TACNA”

Tesis sustentada y aprobada el día 15 de mayo de 2022 estando integrado
el Jurado Calificador por:

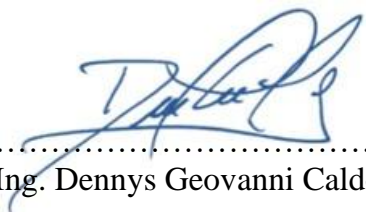
PRESIDENTE


:
Mtro. Ing. César José Avendaño Jihuallanga

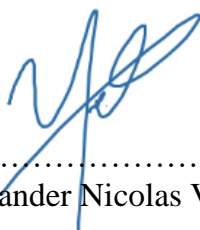
SECRETARIO


:
Mtro. Ing. Martín Paucara Rojas

VOCAL


:
Mtro. Ing. Dennys Geovanni Calderón Paniagua

ASESOR DE TESIS


:
MSc. Ing. Alexander Nicolás Vilcanqui Alarcón

CERTIFICADO DE SIMILITUD

Yo Alexander Nicolas Vilcanqui Alarcón en mi condición de asesor acreditado por la Resolución de Facultad R.F. N° 188-2022-FIAG/UNJBG de la tesis titulada: "ANÁLISIS DE ESTABILIZACIÓN DE SUELOS CON CEMENTO EN CAMINOS VECINALES DEL DISTRITO DE POCOLLAY - TACNA", presentado por el Bachiller Franco Bahia Jaillita Mamani para optar el título profesional de Ingeniero Civil, habiendo cumplido con lo establecido en el reglamento de originalidad y de similitud de trabajos de investigación y producción intelectual, considerando que según la revisión, evaluación y análisis realizado a través del software Antiplagio **TURNITIN** cuenta con el nivel de similitud cuyo porcentaje es 7 % por lo que **CERTIFICO LA SIMILARIDAD** de la tesis, la cual está de acuerdo al nivel **PERMITIDO**, para continuar con los trámites correspondientes y para su publicación en el repositorio Institucional.

Se emite el presente certificado con fines de continuar con los trámites respectivos para su obtención del título profesional.



Firma de Asesor

DNI N° 70023449

Nombre y apellidos del asesor: Alexander Nicolas Vilcanqui Alarcon

DEDICATORIA

Dedicada para mis padres, por su comprensión, esfuerzo y ayuda en momentos malos. Dedicada también a mis abuelos vivos y fallecidos cada uno de ellos es parte de mí y los llevo en mi mente y corazón, me han dado todo lo que me hace ser quien soy, incluida mi moral, mis valores, mi perseverancia y mi determinación. Lo han hecho con mucho amor y ni una sola vez me han pedido nada a cambio.

AGRADECIMIENTO

A dios por darme la vida y brindarme salud, y mi familia querida

A mis padres, hermanos y amistades que siempre se han preocupado por mi y han sido mi motivación para superarme cada día

A los docentes, por darme a conocer esta bella carrera profesional y brindarme sus conocimientos y valores para desarrollarme en esta profesión.

INDICE GENERAL

DEDICATORIA.....	iii
AGRADECIMIENTO.....	iv
ÍNDICE GENERAL.....	v
ÍNDICE DE TABLAS.....	ix
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xi

CONTENIDO

RESUMEN.....	1
ABSTRACT.....	2
INTRODUCCIÓN	3
CAPÍTULO I ASPECTOS GENERALES	4
1.1 ANTECEDENTES.....	4
1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	5
1.3 FORMULACIÓN DE LA HIPÓTESIS	6
1.3.1 Hipótesis General.....	6
1.3.2 Hipótesis Específicas	6
1.4 JUSTIFICACIÓN.....	7
1.4.1 En el aspecto social	7
1.4.2 En el aspecto ambiental.....	7

1.4.3. En el aspecto económico	7
1.5 DEFINICIÓN DE LOS OBJETIVOS	7
1.5.1 Objetivo General	7
1.5.2 Objetivos Específicos.....	8
1.6 ALCANCES Y LIMITACIONES.....	8
1.6.1 Alcances	8
1.6.2 Limitaciones.....	8
CAPITULO II MARCO TEÓRICO	9
2.1 CONCEPTOS GENERALES	9
2.1.1 Suelo-cemento.....	9
2.1.2 Suelo.....	10
2.1.3 Tipos de Suelo.....	10
2.1.4 Principales propiedades de los suelos	13
2.1.5 Clasificación de suelos.....	15
2.1.6 Clasificación de Suelos SUCS	16
2.1.7 Clasificación de Suelos ASSHTO.....	18
2.1.8 Cemento	20
2.1.9 Tipos de Cemento	21
2.2 MODIFICACIÓN Y ESTABILIZACIÓN DE SUELOS.....	24
2.2.1 Modificación y Estabilización de Suelos	24
2.2.2 Ventajas de Suelos Estabilizados	25
2.2.3 Tipos de Estabilización	27

2.3 ESTABILIZACIÓN DE SUELOS CON CEMENTO.....	33
2.3.1 Propiedades	33
2.3.2 Aplicaciones.....	37
2.3.3 Suelos deficientes que afectan la estabilización suelo y cemento.....	43
2.3.4 Suelos aptos para la estabilización suelo-cemento.....	44
2.4 NORMA GENERAL DE DOSIFICACIÓN DE SUELO-CEMENTO.....	46
2.5 NORMATIVA TÉCNICA PARA LA ESTABILIZACIÓN SUELO-CEMENTO	47
2.6 VÍAS	49
2.6.1. Tipos de vías	49
2.6.2 Caminos rurales o vecinales.....	50
2.7 UBICACIÓN Y CARACTERÍSTICAS DE LA ZONA DE ESTUDIO....	51
2.7.1 Características del distrito de Pocollay:	51
2.7.2 Ubicación del Proyecto	54
CAPITULO III MARCO METODOLÓGICO	57
3.1 ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO (MTC E-107):.....	57
3.1.1 Análisis por medio de tamizado de la fracción retenida en el tamiz de 4,760 mm	57
3.1.2 Análisis granulométrico de la fracción fina	58
3.2 DETERMINACIÓN DEL LÍMITES DE CONSISTENCIA (MTC E-110):	60
3.3 CONTENIDO DE HUMEDAD NATURAL (MTC E-107):	64
3.4 ENSAYO PROCTOR MODIFICADO (MTC E-115):	66

3.5 PESO ESPECÍFICO DEL MATERIAL DE AGREGADO GRUESO Y AGREGADO FINO AGREGADO FINO (MTC E-205):.....	71
3.6 AGREGADO GRUESO (MTC E-206):.....	72
3.7 PREPARACIÓN EN EL LABORATORIO DE PROBETAS DE SUELO – CEMENTO (MTC E-1104):	74
3.7.1 Mezcla	77
3.7.2 Moldeo	78
3.7.3 Curado	81
3.7.4 Refrentado	82
CAPITULO IV PROCEDIMIENTO Y ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	83
4.1 RECONOCIMIENTO Y MUESTREO DE LA ZONA:	83
4.2 CLASIFICACIÓN DEL SUELO DE LA SUBRASANTE:.....	86
4.3 DETERMINACIÓN DEL OPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD:	93
4.4 ENSAYO DE ESTABILIZACIÓN SUELO-CEMENTO Y ROTURA DE BRIQUETAS ESTABILIZADAS:	100
4.5 CORRECCIÓN POR DESGASTE DE HUMEDAD Y SECADO:	108
CAPITULO V CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	120
5.1 CONCLUSIONES.....	120
5.2 RECOMENDACIONES	121
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	121

INDICE DE TABLAS

Tabla 1: <i>Clasificación según SUCS</i>	17
Tabla 2 : <i>Clasificación según ASSHTO</i>	20
Tabla 3: <i>Análisis granulométrico por tamizado C-1</i>	87
Tabla 4 : <i>Límite de consistencia: Limite líquido y limite plástico C-1</i>	88
Tabla 5 : <i>Análisis granulométrico por tamizado C-2</i>	90
Tabla 6: <i>Límite de consistencia: Limite líquido y limite plástico C-2</i>	91
Tabla 7: <i>Contenido de humedad C-1</i>	94
Tabla 8: <i>Ensayo Proctor modificado C-1</i>	94
Tabla 9: <i>Contenido de humedad C-2</i>	96
Tabla 10: <i>Ensayo Proctor modificado C-2</i>	96
Tabla 11: <i>Peso específico del agregado grueso y fino C-1</i>	97

Tabla 12: <i>Peso específico del agregado grueso y fino C-2</i>	98
Tabla 13: <i>Moldeo de cuerpos de probetas suelo-cemento C-1</i>	102
Tabla 14 : <i>Datos de las probetas que fueron expuestas a rotura al 7mo día en C-1</i>	103
Tabla 15: <i>Resumen de las roturas al 7mo día en C-1</i>	103
Tabla 16: <i>Moldeo de cuerpos de probetas suelo-cemento C-2</i>	105
Tabla 17: <i>Datos de las probetas que fueron expuestas a rotura al 7mo día en C-2</i>	106
Tabla 18 : <i>Resumen de las roturas al 7mo día en C-2</i>	106
Tabla 19: <i>Humedecimiento y secado de mezclas de suelo-cemento compactadas C-1 (2.25% cemento)</i>	110
Tabla 20: <i>Humedecimiento y secado de mezclas de suelo-cemento compactadas C-1(2.55%cemento)</i>	111
Tabla 21: <i>Humedecimiento y secado de mezclas de suelo-cemento compactadas C-1(2.85% cemento)</i>	112
Tabla 22: <i>Resumen de % de desgaste para las dosificaciones por ensayo humedad-secado C-1</i>	113
Tabla 23: <i>Humedecimiento y secado de mezclas de suelo-cemento compactadas C-2(1.85% cemento)</i>	115
Tabla 24: <i>Humedecimiento y secado de mezclas de suelo-cemento compactadas C-2(2.15% cemento)</i>	116

Tabla 25: <i>Humedecimiento y secado de mezclas de suelo-cemento compactadas C-2 (2.45% cemento)</i>	117
Tabla 26 : <i>Resumen de % de desgaste para las dosificaciones por ensayo humedad-secado C-2</i>	118

INDICE DE FIGURAS

Figura 1: <i>Grafica de clasificación fracción limoso-arcillosa</i>	19
Figura 2 : <i>Tipos de cemento</i>	23
Figura 3 : <i>Aplicación de suelo-cemento en pisos</i>	39
Figura 4: <i>Uso de suelo-cemento en pavimentos</i>	42
Figura 5 : <i>Vías principales del Distrito de Pocollay</i>	53
Figura 6: <i>Mapa regional de Tacna</i>	55
Figura 7: <i>Delimitación del Distrito de Pocollay</i>	56
Figura 8: <i>Análisis granulométrico en tamiz</i>	60
Figura 9: <i>Limites de Attenberg</i>	64
Figura 10: <i>Realización de compactación para Proctor</i>	71
Figura 11: <i>Moldeo de probetas</i>	80
Figura 12: <i>Curado de muestras</i>	82
Figura 13: <i>Zonas escogidas para el estudio</i>	84
Figura 14: <i>Excavación en calicata C-1</i>	85

Figura 15: <i>Excavación en calicata C-2</i>	86
Figura 16 : <i>Curva granulométrica C-1</i>	88
Figura 17 : <i>Contenido de humedad a 25 golpes C-1</i>	89
Figura 18 : <i>Curva granulométrica C-2</i>	90
Figura 19: <i>Contenido de humedad a 25 golpes C-2</i>	92
Figura 20: <i>Ensayos realizados para granulometría y de límites de Attenberg</i>	92
Figura 21: <i>Gráfico de la Relación humedad-densidad en C-1</i>	95
Figura 22: <i>Relación humedad-densidad C-2</i>	97
Figura 23: <i>Gráfico del aumento de Resistencia por el % cemento en C-1</i>	104
Figura 24 : <i>Gráfico del aumento de Resistencia por el % cemento en C-2</i>	107
Figura 25: <i>Realización y rotura de probetas</i>	108
Figura 26: <i>Grafica de perdida suelo-cemento con respecto al % de cemento en C-1</i>	113
Figura 27 : <i>Grafica de perdida suelo-cemento con respecto al % de cemento en C-2</i>	118
Figura 28: <i>Probetas realizadas</i>	119

RESUMEN

El distrito de Pocollay cuenta con diferentes sectores, donde las vías muestran un desarrollo diferente en cada sector. El sector 2 es el que tiene más carreteras asfaltadas, mientras que los sectores 1, 3 y 4, que suelen estar formados por terrenos agrícolas y territorio urbano en proceso de consolidación, tienen más caminos de tierra o rurales.

Para mejorar las propiedades físicas del suelo y aumentar su resistencia, durabilidad e impermeabilidad, un método de los más empleados para estabilización del suelo consiste en añadir cemento al terreno nativo, mezclarlo con agua y, a continuación, compactar adecuadamente la mezcla.

El objetivo de esta investigación es examinar el comportamiento de la técnica de mezcla de suelo y cemento, en diferentes puntos del distrito de Pocollay, además se adicionarán diferentes porcentajes de cemento. Para ello se utilizarán diversas piezas de prueba (probetas), que se someterán a ensayos de resistencia a la compresión y de esfuerzo de compresión indirecto. El aumento o disminución de la rigidez durante estos tiempos se calculará en función de los tiempos de curado de 7, 14 y 28 días.

Palabras clave: estabilización de suelos, suelo-cemento, granulometría, ensayos, dosificación.

ABSTRACT

The Pocollay district is divided into sectors, with roadways varying in development. Sector 2 has the most paved roads, whereas sectors 1, 3, and 4 have more dirt or rural roads. These sectors are typically made up of agricultural land and urban area in the process of consolidation.

One of the most often used procedures for soil stabilization consists of adding cement to native soil, mixing it with water, and then appropriately compacting the mixture to improve the physical properties of soil and increase its strength, durability, and impermeability.

The goal of this study is to analyze the behavior of the soil and cement mixing technique at various points in the Pocollay district, with varied percentages of cement applied. Several test pieces (specimens) will be used for this purpose, which will be subjected to compressive strength and indirect compressive stress tests. The stiffness increase or reduction during these times will be calculated as a function of the curing times of 7, 14, and 28 days.

Key words: soil stabilization, soil-cement, granulometry, testing, dosage.

INTRODUCCIÓN

Desde el reciente siglo XX en el campo de la ingeniería se ha venido implementando el uso de cemento con los suelos ya sea como material de construcción en pisos, como estabilizador de suelos o terraplenes, también en revestimientos siendo una opción económica y ecológica.

En la actualidad en la región de Tacna existen caminos vecinales rurales como también caminos provisionales que se encuentran en mal estado y que necesitan un mantenimiento periódico, ya sea por el poco avance urbano del distrito o por el desconocimiento de los pobladores, a través de la estabilización de suelos se puede crear una solución a este problema, por esta razón se realizó el presente trabajo, cuyo aporte será obtener un diseño óptimo para la estabilización de los tipos de suelos en los caminos vecinales del distrito de Pocollay. Donde la estabilización de suelos al emplearse en caminos brindará conexiones de transporte más durables y resistentes, para las comunidades existentes y comunidades futuras.

El presente trabajo pretende evaluar la estabilización suelo con cemento usándolo como una alternativa en su aplicación en caminos vecinales, lo que implica conocer las cualidades de esta mezcla, tales como propiedades, procesos constructivos y que finalmente sea una opción en el proyecto de futuros caminos vecinales.

CAPÍTULO I

ASPECTOS GENERALES

1.1 ANTECEDENTES

Uno de los factores clave que afectan a la productividad y desarrollo de una ciudad o región es el estado de sus carreteras, en el país, dentro de la red vial nacional las carreteras vecinales o rurales son cruciales, ya que ocupan un gran porcentaje, y la mayoría necesita mantenimiento. Desde el siglo XX, debido a sus bajos costes de construcción y mantenimiento, la estabilización de suelos con cemento se ha implantado en varios países se ha utilizado en varios campos de la ingeniería, como pavimentos, bases para estructuras de hormigón, ingeniería geotécnica, etc.

A través del estudio técnico elaborado por la Asociación Brasileña de Cemento Portland (2002) se puede acceder a una descripción detallada de las normas de dosificación suelo-cemento propuestas por la “Portland Cement Association (PCA)” de los Estados Unidos de América. Desde 1939, las conclusiones de estos trabajos, realizados en dos fases a lo largo de dos décadas (1932 - 1952), han sido validadas en un gran número de servicios realizados con suelos de los más diversos orígenes y regiones del mundo. También se explican las técnicas de ensayo utilizadas en las normas de dosificación, y son las que serán consideradas en la ejecución del procedimiento del presente trabajo.

1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El aumento de densidad poblacional en el Distrito de Pocollay ha ido creciendo con el tiempo, y esto ha originado un desorden en su planeamiento urbano. Según el Plan de desarrollo local del Distrito “(Pocollay, 2020)”.

“Existen asociaciones de vivienda que, debido a una rápida conformación, cuentan con establecimientos urbanos irregulares, tanto para sus viviendas como también sus caminos vecinales o rurales, ya sea por falta de conocimiento o por solvencia económica.”

En los caminos vecinales del distrito se realizan muy pocos mantenimientos periódicos de limpieza y compactación , donde también existen caminos hechos por los propios pobladores creados a partir de la necesidad de vías para el uso de ganadería y agricultura, estos no se encuentran dentro del proyecto vial y puede que en un futuro se .consideren , el cemento usado en el suelo puede considerarse como una vía de solución tanto a los pobladores como a la Municipalidad ya que su mantenimiento es menos periódico y también más económico.

La utilización de cemento en las capas de suelo para las vías implica la combinación homogénea de suelo pulverizado con cemento portland y agua, seguida de compactación para lograr alta densidad y curado para favorecer el endurecimiento del material resultante. Este proceso da lugar a un nuevo material resistente a la compresión, casi impermeable, con capacidad de aislamiento térmico

y estable a lo largo del tiempo. El objetivo principal de estabilizar los suelos es aumentar su capacidad de soporte y reducir su vulnerabilidad ante la humedad y otros factores ambientales negativos, así como, en muchos casos, mejorar su resistencia mecánica. Si la fracción granular del suelo es importante, una cantidad moderada de cemento es suficiente para obtener un material resistente al agua, estable y capaz de soportar deformaciones producidas por el tráfico durante un largo período de tiempo (ANCADE.2009)

1.3 FORMULACIÓN DE LA HIPÓTESIS

1.3.1 Hipótesis General

El uso de cemento en la estabilización de suelos de los caminos vecinales, influirá de manera positiva en las propiedades del suelo del distrito.

1.3.2 Hipótesis Específicas

- La dosificación de la estabilización de suelos será igual en los caminos vecinales del distrito.
- La estabilización de suelos será una alternativa de uso en los caminos vecinales para la población creciente del distrito Pocollay.

1.4 JUSTIFICACIÓN

1.4.1 En el aspecto social

La estabilización de suelos al emplearse en caminos brindara conexiones de transporte más durables y resistentes, para las comunidades existentes y comunidades futuras.

1.4.2 En el aspecto ambiental

Para que el suelo se llegue a estabilizar, se usa el material propio del lugar y se disminuye los mantenimientos periódicos de caminos, sin afectar los sistemas de vida animal y vegetal.

1.4.3. En el aspecto económico

La estabilización de suelos lograra que el mantenimiento de los caminos vecinales sea menos periódico y por ende más económico, el cemento es un material que es económicamente accesible para ciudadanos de altos como de bajos recursos.

1.5 DEFINICIÓN DE LOS OBJETIVOS

1.5.1 Objetivo General

- Analizar la estabilización suelo con cemento usándolo como una alternativa en su aplicación en caminos vecinales, lo que involucra conocer las características de esta mezcla tales como propiedades, procesos constructivos y que finalmente sea una opción en el proyecto de futuros

caminos vecinales.

1.5.2 Objetivos Específicos

- Realizar la caracterización del material de excavación proveniente de puntos representativos de los caminos vecinales del distrito de Pocollay
- Determinar la resistencia a la compresión simple en probetas de suelo-cemento para cada una de las dosificaciones a realizar.
- Determinar la dosificación óptima agua/cemento para la estabilización de suelos con cemento

1.6 ALCANCES Y LIMITACIONES

1.6.1 Alcances

- Mediante el presente trabajo se podrá conocer una dosificación a emplearse en la estabilización de suelos que abarcará los caminos de asociaciones de vivienda que se encuentren como vía rural

1.6.2 Limitaciones

- Antes de llevar a cabo la estabilización de suelos con cemento, es necesario realizar un estudio detallado de las características principales y la homogeneidad de los suelos que se van a tratar. Además, se deben realizar pruebas de laboratorio más precisas para calcular con mayor exactitud la cantidad necesaria de cemento a utilizar.

- Las muestras de los puntos obtenidos puede que no representen a las asociaciones de vivienda cercanas y por haber, ya que el tipo de suelo de Pocollay es muy variante en su área.

-

CAPITULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 CONCEPTOS GENERALES

2.1.1 Suelo-cemento

El suelo-cemento es un material que se produce mediante la combinación de suelo, cemento Portland y agua. Se dosifica, compacta y cura con el fin de conseguir un producto resistente con propiedades macizas (Serigos,2008)

El propósito de agregar cemento Portland es mejorar la resistencia y disminuir la deformación, permeabilidad y sensibilidad al agua. Estos beneficios estructurales y de durabilidad se incrementan a medida que pasa el tiempo y se aumenta la cantidad de cemento utilizada. (Serigos,2008)

El suelo-cemento se emplea principalmente en la construcción de carreteras, pero también se utiliza como suelo de fundaciones y revestimiento impermeabilizante para la construcción de ladrillos, para la estabilización de taludes y en otras aplicaciones menos comunes (Serigos,2008)

2.1.2 Suelo

Se puede definir al suelo como un material formado por tres fases: una sólida, una líquida y una gaseosa. (Toirac.2008).

La fase sólida del suelo está compuesta por minerales que forman una estructura que depende del tamaño y tipo de sus partículas, así como de la rigidez de su organización. En la naturaleza, la estructura del suelo tiene un alto volumen de vacíos en forma de poros que pueden estar llenos total o parcialmente de agua o de una mezcla de agua y gas (Toirac.2008).

2.1.3 Tipos de Suelo

Los suelos han sido clasificados desde tiempos antiguos y de maneras muy diversas, de tal forma que resulta imposible aquí pretender dar una idea, aún somera, de las clasificaciones existentes, incluso las bases sobre las que las mismas se apoyan son muy variadas. (Alpañes J. y., 1975)

2.1.3.1 Suelos arcillosos blandos compresibles y suelos orgánicos. Un suelo se considera compresible cuando disminuye su volumen bajo el efecto de una carga. La compresibilidad aumenta a medida que aumenta la cantidad de partículas finas, como arcillas y limos. En el caso de los suelos arcillosos, la compresibilidad se puede relacionar con parámetros como la relación de vacíos, el límite líquido, el contenido de agua y el peso unitario seco (Verruijt, 2008)

Los suelos arcillosos pueden experimentar una compresibilidad influenciada por diversos factores, tales como las características mineralógicas de

la arcilla, su plasticidad y la proporción de arena y limo presentes. Como resultado de estas variables, estos suelos pueden sufrir asentamientos inmediatos debido a la deformación que experimentan las partículas bajo cargas verticales. (Arman Z.G., 2007)

Los suelos de origen orgánico se forman principalmente in situ a través del crecimiento y posterior descomposición de plantas, como algas, o mediante la acumulación de fragmentos de esqueletos inorgánicos o conchas de organismos. Por lo tanto, un suelo de origen orgánico puede ser tanto orgánico como inorgánico. El término "suelo orgánico" se refiere comúnmente a suelos transportados que consisten en productos de roca intemperizada con una cantidad visible de materia vegetal descompuesta. (Karl Terzaghi, 1963)

2.1.3.2 Suelos volcánicos. Los suelos de origen volcánico tienen características físicas y químicas únicas (baja densidad, alta capacidad de retener agua, tixotropía, carga variable, fijación de fosfatos, etc.) que disminuyen o desaparecen cuando disminuye la presencia de materiales volcánicos. La ceniza volcánica es el componente principal que se compone en gran parte de vidrio volcánico, que al descomponerse, forma minerales con baja cristalinidad (ferrihidrita, imogolita, alofano) que son responsables de estas propiedades. (Barbosa, 2020)

2.1.3.3 Suelos expansivos. Los suelos expansivos o expansivos suelen ser esos tipos de suelos que se hinchan cuando son sometidos a humedades parcialmente saturadas. También es importante destacar que los suelos volcánicos pueden experimentar contracción a medida que pierden humedad, lo que puede afectar su estabilidad y capacidad de carga. Por lo general, presentan índices de plasticidad elevados y sus características de carga varían según su contenido de humedad. (Kalantari,2012)

Los suelos expansivos son suelos que experimentan un cambio de volumen significativo asociado con cambios en el contenido de agua. Estos cambios de volumen pueden ser en forma de hinchamiento o de contracción y es por eso que a veces se los conoce como suelos de hinchamiento/encogimiento. Los aspectos clave que necesitan identificación cuando se trata de suelos expansivos

incluyen: propiedades del suelo, condiciones de succión/agua, variaciones temporales y espaciales del contenido de agua. (Jefferson, 2012).

2.1.4 Principales propiedades de los suelos

La granulometría de un suelo se refiere a la distribución de tamaños de partículas, y se determina a través de una curva granulométrica obtenida por medio de tamizado con una serie normalizada de tamices en columna. Estos tamices se acoplan de forma descendente, disminuyendo el tamaño de las aberturas. Para realizar el tamizado, se deposita la muestra en el tamiz superior y se somete el conjunto a la acción de un agitador mecánico (Márquez, 2006)

La porosidad es una propiedad del suelo que se refiere a la cantidad de espacios vacíos (poros) que hay en el material. Debido a que el suelo es un sistema compuesto por fases sólidas, líquidas (agua) y gaseosas (aire), su porosidad puede variar en función de la cantidad de agua que contenga. En caso de que el suelo esté completamente seco, solo tendrá dos fases: sólido y aire. (Márquez, 2006)

La humedad, peso específico y grado de saturación (contenido de humedad (ω)), que trata de la humedad gravimétrica (Márquez, 2006)

Los límites de Atterberg son útiles para evaluar el estado de cohesión de las partículas del suelo, y están influenciados por el contenido de humedad. Estos límites, que se refieren al límite líquido, límite plástico y límite de retracción,

indican en qué estado de consistencia se encuentra el suelo, que puede variar desde líquido hasta sólido, según su contenido de humedad (Márquez, 2006)

La consolidación de un suelo es un proceso natural en el que los poros del suelo disminuyen su volumen debido a la carga estática a la que están sometidos durante un largo período de tiempo. Para mejorar la capacidad de soporte y la resistencia de los suelos, se puede llevar a cabo un proceso mecánico llamado compactación, que consiste en reordenar las partículas del suelo para disminuir el volumen de los poros y aumentar su densidad. La compactación es esencial en la construcción de estructuras como presas de materiales sueltos o terraplenes de carreteras, ya que ayuda a aumentar la resistencia y reducir la permeabilidad del suelo. Si los materiales no se compactan adecuadamente, se puede disminuir su resistencia y aumentar el riesgo de fallas (Márquez, 2006)

Las propiedades elementales Porosidad, índice de poros, peso específico, humedad, grado de saturación, índice de densidad. (Alpañes, 1975)

La porosidad de un suelo se refiere a la proporción de su volumen que está ocupada por los poros, independientemente de si estos poros están llenos de aire, agua o una combinación de ambos. El índice de poros, por otro lado, es la relación entre el volumen de los poros y el volumen total de las partículas sólidas del suelo (Alpañes, 1975)

El peso específico y la densidad tienen la misma definición en la física, donde la densidad se refiere a la masa por unidad de volumen, mientras que el peso específico se refiere al peso por unidad de volumen (Alpañes, 1975)

El peso específico del suelo no es idéntico al de sus partículas sólidas, sino que es significativamente menor. Este peso se refiere a la combinación de partículas sólidas, agua y aire presentes en el suelo, y varía dependiendo de la proporción de los poros que estén llenos de agua (Alpañes, 1975)

La humedad de un suelo se define como la relación entre el peso del agua presente en el suelo y el peso del suelo seco a una temperatura constante. Por lo general, se toma una temperatura de entre 105°C y 110°C. El grado de saturación de las arenas se expresa comúnmente en términos de seca, húmeda, etc. (Alpañes, 1975)

Índice de densidad, el índice de poros de un conjunto de esferas iguales en una masa estable varía según la forma en que se dispongan. En la disposición más compacta o densa posible, el índice de poros será menor (Alpañes, 1975)

2.1.5 Clasificación de suelos

El propósito final de llevar a cabo la determinación y medición de las diversas propiedades de un suelo es establecer una clasificación sistemática de los diferentes tipos de suelos disponibles, basada en la similitud de sus características físicas y propiedades geomecánicas (Bañon, 1999).

La clasificación rigurosa y precisa de los diferentes tipos de suelos permite a los ingenieros tener una idea preliminar del comportamiento que se puede esperar de un suelo como base para una estructura. Para lograr esto, a menudo es suficiente conocer la granulometría y plasticidad del suelo, ya que estas propiedades son fáciles de determinar y se correlacionan con el comportamiento mecánico del suelo. (Bañon, 1999).

2.1.6 Clasificación de Suelos SUCS

Clasificación del suelo según SUSCS (Sistema unificado de clasificación de suelos)

ASTM D-2487-98 e IS: 1498-1970 han adoptado el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos para la identificación y clasificación de suelos con fines de ingeniería general.

Los suelos se pueden dividir en tres categorías generales:

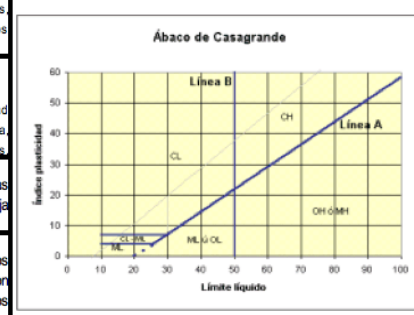
- Suelos de grano grueso: estos suelos tienen un peso en el que el 50% o más del material total es mayor que el tamaño del tamiz de 75 micrones.
- Suelos de grano fino: estos suelos tienen un peso en el que el 50% o más del material total es menor que el tamaño del tamiz de 75 micrones.
- Suelos altamente orgánicos y otros materiales diversos del suelo: esta categoría incluye suelos que tienen una gran cantidad de materia orgánica fibrosa, como la turba, y partículas de vegetación descompuesta. Además, los suelos que

contienen conchas, cenizas y otros materiales que no son del suelo en cantidades significativas también se incluyen en esta categoría.

Tabla 1:

Clasificación según SUCS

DIVISIONES PRINCIPALES		Símbolos del grupo	NOMBRES TÍPICOS	IDENTIFICACIÓN DE LABORATORIO	
SUELOS DE GRANO GRUESO	GRAVAS	Gravas limpias	GW	Gravas, bien graduadas, mezclas grava-arena, pocos finos o sin finos.	<p>Determinar porcentaje de grava y arena en la curva granulométrica. Según el porcentaje de finos (fracción inferior al tamiz número 200). Los suelos de grano grueso se clasifican como sigue:</p> <p><5%-> GW, GP, SW, SP. >12%-> GM, GC, SM, SC.</p> <p>5 al 12%-> casos límite que requieren usar doble símbolo.</p> <p>Cu=$D_{60}/D_{10}>4$ Cc=$(D_{30})^2/D_{10} \times D_{60}$ entre 1 y 3</p> <p>No cumplen con las especificaciones de granulometría para GW.</p> <p>Límites de Atterberg debajo de la línea A con IP<4.</p> <p>Encima de línea A con IP entre 4 y 7 son casos límite que requieren doble símbolo.</p> <p>Límites de Atterberg sobre la línea A con IP>7.</p> <p>Cu=$D_{60}/D_{10}>6$ Cc=$(D_{30})^2/D_{10} \times D_{60}$ entre 1 y 3</p> <p>Cuando no se cumplen simultáneamente las condiciones para SW.</p> <p>Límites de Atterberg debajo de la línea A con IP<4.</p> <p>Los límites situados en la zona rayada con IP entre 4 y 7 son casos intermedios que precisan de símbolo doble.</p> <p>Límites de Atterberg sobre la línea A con IP>7.</p>
		(sin o con pocos finos)	GP	Gravas mal graduadas, mezclas grava-arena, pocos finos o sin finos.	
		Gravas con finos	GM	Gravas limosas, mezclas grava-arena-limo.	
		(apreciable cantidad de finos)	GC	Gravas arcillosas, mezclas grava-arena-arcilla.	
	ARENAS	Arenas limpias	SW	Arenas bien graduadas, arenas con grava, pocos finos o sin finos.	
		(pocos o sin finos)	SP	Arenas mal graduadas, arenas con grava, pocos finos o sin finos.	
		Arenas con finos	SM	Arenas limosas, mezclas de arena y limo.	
		(apreciable cantidad de finos)	SC	Arenas arcillosas, mezclas arena-arcilla.	
		Más de la mitad de la fracción gruesa pasa por el tamiz número 4 (4,76 mm)			
		Más de la mitad del material retenido en el tamiz número 200 (4,76 mm)			
SUELOS DE GRANO FINO	Limos y arcillas:		ML	Limos inorgánicos y arenas muy finas, limos limpios, arenas finas, limosas o arcillosa, o limos arcillosos con poca plasticidad.	
			CL	Arcillas inorgánicas de plasticidad baja a media, arcillas con grava, arcillas arenosas, arcillas limosas.	
	Límite líquido menor de 50		OL	Limos orgánicos y arcillas orgánicas limosas de baja plasticidad.	
	Limos y arcillas:		MH	Limos inorgánicos, suelos arenosos finos o limosos con mica o diatomeas, limos elásticos.	
			CH	Arcillas inorgánicas de plasticidad alta.	
	Más de la mitad del material pasa por el tamiz número 200		OH	Arcillas orgánicas de plasticidad media a elevada; limos orgánicos.	
	Límite líquido mayor de 50		PT	Turba y otros suelos de alto contenido orgánico.	
Suelos muy orgánicos					



Nota. Tabla de clasificación SUCS. Reproducido de Sistema unificado de clasificación de suelos SUCS.2017. (www.mecanicasuelosabcchile.com)

2.1.7 Clasificación de Suelos ASSHTO

El sistema de clasificación de suelos AASHTO es ampliamente utilizado en la construcción de carreteras, autopistas y aeropuertos, en particular para el material de subrasante. Para cumplir con los requisitos del sistema de clasificación de suelos AASHTO, se deben tener en cuenta ciertos factores:

- Límite líquido
- Índice de plasticidad .
- Tamaño de grano
- Análisis mecánico

Se puede clasificar la fracción de suelo según su tamaño y plasticidad. La grava se define como la fracción que se retiene en el tamiz n. ° 10 (2 mm) de EE. UU. y pasa el tamiz de 75 mm.

La arena es la fracción que pasa el tamiz # 10 y retiene el tamiz # 200, mientras que el limo y la arcilla son las fracciones que pasan el tamiz # 200.

El término "limoso" se utiliza cuando las fracciones finas tienen un índice de plasticidad (PI) inferior a 10, mientras que se utiliza el término "arcilloso" cuando las fracciones finas tienen un PI superior a 11.

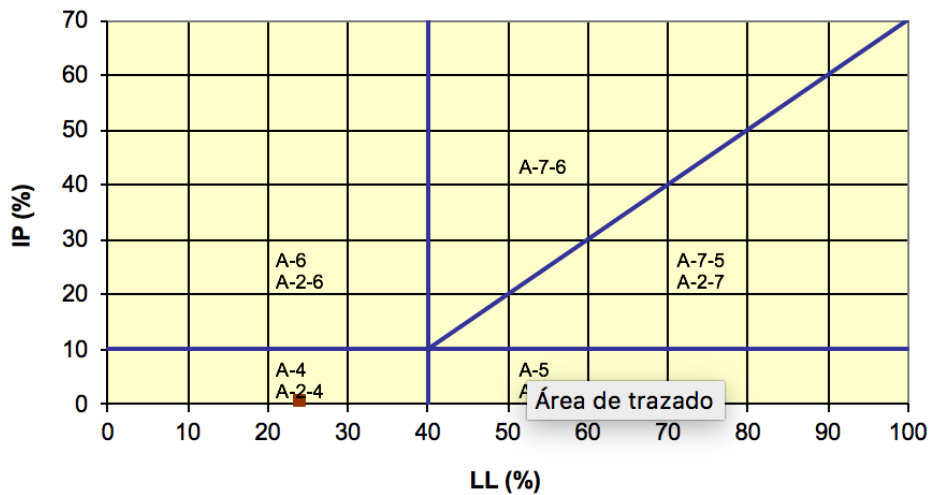
Los suelos se clasifican en ocho grupos, A-1 a A-8, siendo los grupos principales A-1, A-2 y A-3 representativos de suelos de grano grueso, y A-4, A-

5, A-6 y A-7 representativos de suelos de grano fino. El grupo A-8 se identifica mediante inspección visual. Los rangos de LL y PI para los grupos A-4, A-5, A-6 y A-7 se muestran en una figura. Esta clasificación es ampliamente utilizada para la construcción de carreteras, autopistas y aeródromos, especialmente para la subrasante del material.

Los requisitos previos para el sistema de clasificación de suelos AASHTO incluyen estos parámetros de clasificación. (Boada, 2019)

Figura 1:

Grafica de clasificación fracción limoso-arcillosa



Nota. Grafica de representación limosa-arcillosa. Reproducido de Abaco de Casagrande .2017. (www.mecanicasuelosabcchile.com)

Tabla 2 :

Clasificación según ASSHTO

Clasificación general	Materiales granulares (35% o menos pasa por el tamiz Nº 200)							Materiales limoso arcilloso (más del 35% pasa el tamiz Nº 200)			
	A-1		A-3	A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7	A-4	A-5	A-6	A-7 A-7-5 A-7-6
Grupo:	A-1-a	A-1-b									
Porcentaje que pasa: Nº 10 (2mm) Nº 40 (0,425mm) Nº 200 (0,075mm)	50 máx 30 máx 15 máx	- 50 máx 25 máx	- 51 mín 10 máx	- - 35 máx			- - 36 mín				
Características de la fracción que pasa por el tamiz Nº 40 Límite líquido Índice de plasticidad	- 6 máx		- NP (1)	40 máx 10 máx	41 mín 10 máx	40 máx 11 mín	41 mín 11 mín	40 máx 10 máx	41 mín 10 máx	40 máx 11 mín	41 mín (2) 11 mín
Constituyentes principales	Fracmentos de roca, grava y arena		Arena fina	Grava y arena arcillosa o limosa			Suelos limosos		Suelos arcillosos		
Características como subgrado	Excelente a bueno							Pobre a malo			

(1): No plástico

(2): El índice de plasticidad del subgrupo A-7-5 es igual o menor al LL menos 30

El índice de plasticidad del subgrupo A-7-6 es mayor que LL menos 30

Nota. Tabla de clasificación SUCS. Reproducido de Sistema unificado de clasificación de suelos SUCS.2017. (www.mecanicasuelosabcchile.com)

2.1.8 Cemento

Se trata de un agente aglutinante que es hidrófilo y se produce a partir de la calcinación de rocas como la caliza, la arenisca y la arcilla. Durante este proceso, se obtiene un polvo muy fino que, cuando se mezcla con agua, se endurece adquiriendo propiedades resistentes y adherentes. (Pasquel,1999)

El tipo de cemento que se elige para una mezcla depende de las propiedades que se buscan en la mezcla y del tipo de suelo, y la cantidad de cemento que se usa depende de si se desea modificar o estabilizar el suelo. En general, cualquier tipo de cemento Portland se puede utilizar, aunque se suele

utilizar el CPN (Cemento Portland Normal). En casos donde se desea disminuir el efecto dañino de las reacciones entre los sulfatos y el cemento, se puede usar el MRS (moderada resistencia a sulfatos). En climas fríos, es recomendable utilizar cementos del tipo ARI (alta resistencia inicial) o aquellos que contienen cloruro de calcio como aditivo. Los cementos ARI, debido a su mayor finura, tienen mayor reactividad, lo que permite obtener una mayor resistencia en algunos suelos. (Segiros,2008)

2.1.9 Tipos de Cemento

En el caso de Perú, se cuenta con la Normativa Técnica Peruana (NTP) 334.009 que establece los requisitos para los cementos Portland y está basada en la norma ASTM C 150. Esta normativa contempla cinco tipos de cemento:

Cemento Tipo I: Uso general

Este tipo de cemento es adecuado para una amplia variedad de usos en los que no se necesitan propiedades específicas de otros tipos de cementos. Algunos de los usos comunes incluyen pavimentos, pisos, puentes, tanques, embalses, tuberías, unidades de mampostería y productos de concreto prefabricado.

Cemento Tipo II y Tipo II(MH): Moderada resistencia a sulfatos y al calor de hidratación

El cemento tipo II es adecuado para su uso en estructuras convencionales y en componentes que están expuestos a suelos o aguas subterráneas que contienen altos niveles de sulfatos o donde se espera un aumento de temperatura debido a la

hidratación del cemento, aunque no en situaciones extremas. Este tipo de cemento posee una moderada resistencia a los sulfatos debido a su contenido de aluminato tricálcico, que no supera el 8%. Para prevenir el deterioro del concreto, se recomienda utilizar una baja relación agua-material cementante y lograr una baja permeabilidad en la estructura utilizando el cemento tipo II.

Cemento Tipo III: Altas resistencias iniciales

El cemento de tipo ARI (alta resistencia inicial) tiene una alta resistencia en etapas tempranas de la hidratación, por lo general una semana o menos. Aunque es similar al cemento tipo I, las partículas de ARI se muelen más finamente, lo que lo hace adecuado para situaciones en las que se requiere retirar los encofrados lo antes posible o cuando la estructura debe estar lista para su uso inmediatamente después de su construcción.

Cemento Tipo IV: Para lograr bajo calor de hidratación

Este tipo de cemento es adecuado para situaciones en las que se desea reducir la tasa y cantidad de calor generados por la hidratación. En consecuencia, el proceso de endurecimiento de este cemento se produce a una velocidad más lenta que en los otros tipos. Este cemento se puede utilizar en estructuras de concreto masivo en las que la alta temperatura es causada por el calor generado durante el proceso de endurecimiento, y se requiere que dicho calor sea minimizado.

Cemento Tipo V: Alta resistencia a sulfatos

Este tipo de cemento se utiliza en estructuras de concreto que estarán expuestas a la acción severa de sulfatos, especialmente en suelos y aguas subterráneas con alta concentración de estos. Su alta resistencia a los sulfatos se debe al bajo contenido de aluminato tricálcico, que no supera el 5%.

Para que cualquier estructura expuesta a sulfatos funcione adecuadamente, es fundamental utilizar una baja relación de materiales cementantes y tener una baja permeabilidad. Si no se cumple con estos requisitos, incluso el concreto que usa cemento tipo V no será capaz de soportar una exposición severa a los sulfatos.

Figura 2 :

Tipos de cemento



Nota. Cementos usados en Perú. Reproducido de distribución de cemento a nivel nacional. UNACEM .2022. (www.macisa.com.pe)

2.2 MODIFICACIÓN Y ESTABILIZACIÓN DE SUELOS

2.2.1 Modificación y Estabilización de Suelos

Se distingue entre suelos mejorados y estabilizados dependiendo de los objetivos del tratamiento.

Los suelos mejorados se refieren a menudo a suelos de grano fino con humedad excesiva o sensibilidad al agua, que presentan dificultades de compactación, expansividad o baja capacidad de soporte, entre otros problemas. Estos suelos se tratan con cal para mejorar su calidad.

La finalidad principal de este tratamiento es modificar las características del suelo a corto plazo para que pueda ser utilizado. El objetivo puede ser variado, pero por lo general se busca lograr una o varias de las siguientes metas:

- Reducir la humedad para facilitar su compactación
- Crear una superficie estable para trabajar sobre ella
- Preparar el suelo para un tratamiento posterior, como puede ser la aplicación de cemento.

Los suelos estabilizados. - El objetivo principal de la estabilización de suelos es mejorar su capacidad de carga y reducir su susceptibilidad al agua y otras condiciones ambientales adversas, y en algunos casos aumentar su resistencia mecánica. Si la fracción granular del suelo es significativa, una cantidad moderada de agente estabilizante es suficiente para producir un material impermeable, estable y capaz de soportar las deformaciones causadas por el tráfico a largo plazo.

Para lograr la estabilización de un suelo, se debe utilizar cemento si el suelo es poco plástico. Si el suelo es fino y cohesivo, se debe utilizar cal aérea, aunque en ocasiones puede ser necesario un tratamiento mixto, primero con cal para reducir la plasticidad y luego con cemento para aumentar la capacidad de soporte o alcanzar resistencias.

La estabilización de suelos con cemento es especialmente útil en capas de soporte de firmes para infraestructuras con tráfico pesado, ya que contribuye significativamente a su capacidad estructural. Por otro lado, los suelos granulares con pocos finos y plasticidad limitada son ideales para la creación de capas de suelo-cemento en firmes semirrígidos.

2.2.2 Ventajas de Suelos Estabilizados

Ventajas técnicas

Se pueden mencionar varias ventajas técnicas de la utilización de suelos estabilizados o mejorados, entre ellas:

- Permiten el uso de los suelos presentes en el lugar de construcción, mejorando sus propiedades para alcanzar las necesidades específicas del proyecto.
- Proporcionan una alta capacidad de soporte a la explanada, lo que aumenta la durabilidad del pavimento.

- Aseguran la estabilidad de la explanada al ser insensibles al agua y a la helada, evitando cambios volumétricos y la erosión.
- Disminuyen tensiones en las capas del firme, aumentando la vida útil del pavimento.
- Pueden permitir la circulación de vehículos de construcción inmediatamente después de la colocación.

Ventajas económicas y ambientales

Se pueden destacar ventajas tanto económicas como ambientales en la utilización de técnicas de estabilización de suelos. Entre las ventajas económicas se pueden mencionar:

- Posibilidad de utilizar suelos con características inadecuadas, lo que es importante debido a las restricciones actuales en el uso de préstamos y vertederos.
- Ahorro en el transporte de materiales.
- Acortamiento de los plazos de ejecución gracias al uso de equipos específicos de alto rendimiento.
- Ahorro en las capas de firme gracias a la obtención de cimientos de mayor capacidad de soporte

Por otro lado, las ventajas ambientales están relacionadas con las ventajas económicas y también son importantes. Es necesario prestar atención a estas ventajas, ya que están ganando cada vez más importancia.

2.2.3 Tipos de Estabilización

2.2.3.1 Estabilización de suelos con la adición de cemento. Los suelos estabilizados con cemento se pueden clasificar en diferentes tipos en función de las propiedades de la mezcla resultante. Una de estas clasificaciones se refiere a los suelos mejorados con cemento, en los que se agrega una cantidad relativamente baja de cemento a un suelo disgregado con el fin de mejorar algunas de sus características. Después del tratamiento, estos suelos aún se mantienen sueltos.

La principal diferencia entre los suelos estabilizados con cemento para explanadas y los utilizados en capas de firme radica en el contenido más elevado de cemento de los segundos. Esto se traduce en una mayor resistencia mecánica y en una mayor homogeneidad. A continuación, se mencionan algunas características de estos materiales que los diferencian de las mezclas con otros agentes estabilizadores:

-Comportamiento en estado fresco: La fase de construcción de los suelos estabilizados con cemento, que comprende desde la mezcla del suelo con el cemento y el agua hasta la finalización de la compactación, debe ser completada en un período de tiempo específico conocido como plazo de trabajabilidad.

-Estabilidad inmediata: La viabilidad de abrir el tráfico de forma inmediata después de la compactación de la mezcla varía según el tipo de suelo y aumenta con la proporción de elementos gruesos. Esto se debe a que a medida que aumenta la cantidad de elementos gruesos, la estabilidad del esqueleto mineral mejora, lo que significa que las deformaciones causadas por el tráfico no son suficientes para romper los enlaces entre las partículas. (Jofré, 2012)

2.2.3.2 Estabilización de suelos con la adición de Cal. El tratamiento de suelos arcillosos con cal tiene varios beneficios, incluyendo la reducción de la plasticidad, la disminución del potencial de hinchamiento y el aumento de la capacidad de soporte. Cuando se mezcla la cal con el suelo, las partículas de arcilla se aglomeran en partículas más grandes, lo que cambia la plasticidad del suelo. En suelos con baja plasticidad, el índice de liquidez (LL) y el índice de plasticidad (LP) aumentan, pero en suelos con plasticidad media y alta, el índice de plasticidad disminuye. La floculación de partículas también ayuda a mejorar la capacidad de soporte del suelo.

Los suelos arcillosos suelen presentar baja capacidad de soporte, pero una vez estabilizados con cal y dependiendo del porcentaje de ésta, los valores obtenidos pueden ser mayores que los de muchos suelos naturales seleccionados.

Una de las razones para estabilizar algunos suelos es que puedan tener un alto potencial de hinchamiento, lo que representa un riesgo de movimiento de la capa después de construir la infraestructura.

La mezcla de suelos arcillosos con cal puede reducir e incluso eliminar estos hinchamientos. Además, los suelos tratados con cal disminuyen su susceptibilidad al agua gracias a los efectos inmediatos de mejora y a la estabilización a largo plazo. Durante el proceso de modificación, el suelo pasa de ser arcilloso a arenoso, lo que conlleva un aumento de la permeabilidad.

El tratamiento con cal mejora la resistencia de las capas ante los ciclos de hielo-deshielo, gracias a las reacciones puzolánicas que se producen y a los productos que se generan durante el proceso. Sin embargo, en España este factor no es de gran importancia. (Kraemer, 2012)

2.2.3.3 Estabilización de suelos con asfalto. La estabilización de bloques con asfalto se basa en el hecho de que la arcilla es el componente del suelo que es inestable en presencia de humedad.

El estabilizador utilizado es una emulsión de asfalto que contiene pequeñas gotas de asfalto suspendidas en agua. Es importante mantener la emulsión a una temperatura superior a cero grados Celsius. Cuando se aplica la emulsión de asfalto al suelo, los glóbulos de asfalto hacen contacto con la parte arcillosa del suelo y, a medida que el agua se evapora, se forma una película alrededor de las partículas de arcilla. Cuando la masa está completamente seca, la emulsión de asfalto proporciona una firmeza y resistencia a la compresión similar a la de un suelo mezclado solo con agua.

Se recomienda el uso de suelos con una composición básica de arena y arcilla, donde la arcilla actúa como cementante de la arena. La fracción fina del suelo debe contener suficiente arcilla para formar una pasta delgada alrededor de las partículas más gruesas.

Los suelos arcillosos pueden presentar problemas de encogimiento y rajaduras, mientras que los suelos con demasiada arena pueden tener una baja cohesión entre sus partículas, resultando en adobes débiles que se desmoronan fácilmente.

Los suelos con alto contenido de materia orgánica también son problemáticos debido a su gran encogimiento, baja resistencia y corta duración en ambientes húmedos.

La presencia de sales y álcalis en cantidades incluso pequeñas puede deteriorar los adobes expuestos a ciclos de humedecido y secado. Por lo tanto, es importante identificar los elementos nocivos y establecer los porcentajes máximos admisibles. Aunque los suelos arcillosos pueden absorber agua, sus partículas no se expanden ni pierden cohesión.. (Machinery, 2011)

2.2.3.4 Estabilización con ácido fosfórico. Aunque se ha demostrado que la estabilización de suelos con ácido fosfórico es efectiva, aún no ha logrado una aceptación generalizada, ya que las cantidades necesarias para mejorar el suelo son similares a las requeridas por el cemento y la cal, pero su costo suele ser mucho mayor. La principal ventaja de usar ácido fosfórico en la estabilización del suelo es la rápida acción cementante que produce, lo que resulta en una densidad mayor que la del suelo sin tratar. Esto lo distingue de otros estabilizantes químicos.

Se ha descubierto que la cantidad necesaria de ácido para estabilizar un suelo depende de la proporción de arcilla que contiene. Por ejemplo, los suelos del tipo A-7-6 (14) con un índice plástico de 22, requerirán un 2%, mientras que otros suelos del tipo A-7-5 (20) con un índice plástico de 46 necesitarán más del 4%. También se ha observado que este método de estabilización no es eficaz en suelos que contienen grandes cantidades de carbonato de calcio, ya que este componente consume una buena parte del ácido, lo que disminuye la capacidad del estabilizante para corregir el suelo (Pinzon, 2019)

2.2.3.5 Estabilización con cloruro de sodio. la técnica puede utilizarse en cualquier tipo de suelo, excepto aquellos que contienen materia orgánica. Sin embargo, el principal problema que surge con esta técnica es la solubilidad de la sal cuando está en contacto con el agua. La sal aumenta la humedad óptima del suelo y disminuye tanto su densidad como su resistencia a la compresión inconfiada. (Garcia,2019)

2.2.3.6 Estabilización con soda caústica. . El uso de hidróxido de calcio se ha mostrado efectivo para estabilizar suelos lateríticos y mejorar su compactación. Sin embargo, se reconoce que su implementación es costosa y que las mezclas estabilizadas con este producto se carbonatan rápidamente al estar en contacto con el aire. (Garcia,2019)

2.2.3.7 Uso de polímeros y resinas. El uso de materiales como impermeabilizantes en suelos, añadiendo del 1% al 2%, se considera una técnica poco práctica ya que no aporta a la resistencia del suelo y solo se puede aplicar en suelos ácidos. Además, estos materiales son altamente degradables por microorganismos y su costo de implementación es elevado. (Garcia,2019)

2.2.3.8 Estabilización electroquímica con aceite sulfonado. La técnica de estabilización se utiliza en suelos finos como arcillas y limos debido a su alto potencial de intercambio iónico, lo que desencadena un proceso químico en el que las partículas de agua unidas al suelo pierden sus enlaces y se separan. En un experimento llevado a cabo en Venezuela, se demostró que el uso de esta técnica redujo la humedad entre un 30% y un 90%, mientras que la relación de densidad máxima aumentó hasta un 15%. (Garcia,2019)

2.3 ESTABILIZACIÓN DE SUELOS CON CEMENTO

2.3.1 Propiedades

2.3.1.1 Relación esfuerzo -deformación. Los suelos predominantemente granulares se vuelven frágiles después de ser tratados, mientras que los suelos cohesivos tratados muestran un comportamiento elástico lineal y no lineal significativo. En cuanto a la forma del comportamiento del suelo estabilizado, algunos estudios han mostrado gráficos con una parte no lineal significativa en la curva esfuerzo-deformación para valores superiores al 80% de la carga de ruptura en mezclas con suelos granulares y entre el 60% y 80% en mezclas con suelos que contienen cantidades significativas de finos. (de la Fuente, 1995).

2.3.1.2 Resistencia a la compresión simple. En relación a los valores de resistencia a la compresión simples obtenidos en los tratados con cemento, se observa que en la literatura hay una amplia variabilidad de valores promedio reportados por distintos investigadores u organismos. Esto se debe principalmente al hecho de que estos valores dependen del diseño utilizado por el ingeniero, y por lo tanto, serán diferentes según las preferencias y objetivos del diseñador. Por ejemplo, la Portland Cement Association de los Estados Unidos reporta valores promedio de entre 30 y 65 g/cm² para el diseño de pavimentos, mientras que en Inglaterra y Alemania, donde se busca obtener mayores resistencias, los valores promedio son más altos, alcanzando hasta 150 kg/cm² a los 28 días, valores similares a los concretos pobres. En conclusión, la variabilidad de los valores reportados se debe a que dependen del diseño específico de cada proyecto y de los objetivos buscados. (de la Fuente,1995)

2.3.1.3 Densidad. Usualmente se toma como medida la densidad seca del suelo y se utiliza como criterio de diseño y control de calidad en la construcción. La adición de cemento al suelo original afecta la relación entre la densidad y la humedad del suelo, lo que provoca cambios en la humedad óptima y la densidad seca máxima para una misma energía de compactación.

La densidad obtenida en el suelo tratado con cemento puede ser menor si se espera demasiado tiempo entre el mezclado y la compactación. Sin embargo, este efecto puede minimizarse mediante mezclas intermedias y utilizando una humedad

ligeramente superior a la óptima. Es importante tener en cuenta que la resistencia aumenta con la densidad, por lo que el tiempo transcurrido entre el mezclado y la compactación también puede influir en el valor de la resistencia obtenida. (Serigos, 2009)

2.3.1.4 Resistencia a flexión. Se puede medir la resistencia a la flexión del suelo tratado con cemento mediante ensayos de viga, tracción directa y tracción por compresión diametral, y los resultados varían según el tipo de ensayo debido al efecto de concentración de tensiones. Diferentes autores concuerdan en que la resistencia a la flexión suele ser entre 1/3 y 1/5 de la resistencia a la compresión. (Serigos, 2009)

2.3.1.5 Rigidez. La rigidez del suelo-cemento se ve influenciada por los mismos factores que afectan la resistencia a la compresión, y al igual que esta última, aumenta con mayores contenidos de cemento Portland y mayor edad de la mezcla. Al igual que el coeficiente de Poisson, su valor varía significativamente en función del tipo y cantidad de suelo y cemento utilizados. Los valores típicos del Módulo de Young para mezclas de suelo-cemento que contienen una cierta proporción de elementos granulares se sitúan en el rango de 4 a 7GPa. (Serigos, 2009).

2.3.1.6 Resistencia al desgaste. La resistencia al desgaste del suelo-cemento se ve influenciada por varios factores, como el contenido de cemento, el contenido de finos y la calidad de la construcción. En general, se ha observado

que cuando se utiliza en carreteras, se desgasta rápidamente bajo la acción abrasiva del tráfico, por lo que a menudo se protege con una capa de concreto asfáltico. Sin embargo, el suelo-cemento es bastante resistente a la erosión causada por las lluvias y se considera adecuado para su uso en muros y pisos de casas, así como en obras de protección contra la erosión de corrientes, oleajes del mar y embalses. En particular, se ha demostrado que es resistente a la socavación concentrada de corrientes fluviales. (de la Fuente,1995).

2.3.1.7 Resistencia a la congelación. El suelo-cemento presenta una resistencia sobresaliente a la congelación, la cual puede variar en función de la cantidad y tipo de cemento utilizado, así como del tipo de suelo. Esto ha llevado a que sea un material ampliamente utilizado en países con climas extremadamente fríos. Para evaluar de manera precisa las características de las mezclas en términos de resistencia a la congelación, se diseñó una prueba de laboratorio específica con fines ingenieriles (de la Fuente,1995).

2.3.1.8 Permeabilidad. La permeabilidad del suelo-cemento dependerá principalmente del tipo de suelo utilizado en su elaboración. Los suelos finos son más propensos a crear capas impermeables, mientras que los suelos predominantemente granulares no suelen tener una permeabilidad lo suficientemente baja para sellar estructuras de almacenamiento de agua. Sin embargo, se ha informado que la adición de una pasta de cemento al suelo y una compactación adecuada pueden mejorar la impermeabilización y se han tenido

éxito en la impermeabilización de estructuras de almacenamiento de agua. (de la Fuente,1995).

2.3.2 Aplicaciones

2.3.2.1 Suelo-Cemento en Pisos. El suelo-cemento es un material compuesto por suelo, cemento y agua, mezclados y compactados en las proporciones adecuadas. Este material puede ser utilizado en diversas técnicas de construcción para crear estructuras monolíticas, paredes y pisos, mediante la conformación de bloques o ladrillos prensados y entramados.

La técnica de estabilización implica la extracción del suelo natural del área, su pulverización, la incorporación de una cantidad adecuada y limitada de cemento, la adición de agua para lograr la humedad óptima de la mezcla y la compactación adecuada. Después del endurecimiento, se obtiene un material de alta resistencia capaz de soportar cargas de trabajo mucho mayores que las que el suelo sin cemento podría soportar, además de ser duradero ante las condiciones atmosféricas adversas. (Barros e Imhoff, 2010).

Cuando se utiliza suelo-cemento para pisos, una limitación es que su resistencia al desgaste es baja. Por esta razón, se sugiere que se compacte in situ y se prevean dos opciones para finalizar la superficie: cubrir con un mortero de arena y cemento o espolvorear con cemento y utilizar una flota para mejorar la apariencia de la superficie. (Toirac, 2008).

El suelo-cemento resulta ser una opción técnicamente eficiente y económica como base para pisos de viviendas de bajos recursos, ya que es resistente a los factores de uso y carga. Debido a los bajos recursos de la población donde se utiliza, se espera que su aplicación tenga un costo menor, ya que se utiliza el suelo extraído en el perfilado del área y la mano de obra no calificada. Esto hace que se incentive su uso en la construcción de pisos en diferentes tipos de construcciones en el futuro. Además, se puede utilizar mano de obra no calificada, lo que hace que su colocación no sea tan compleja y pueda ser llevada a cabo por los propietarios de las viviendas. (Cardoza, 2019)

Por otra parte, Las características medidas en muestras de suelo-cemento a largo plazo demuestran su durabilidad y evolución positiva a lo largo del tiempo, lo que se traduce en una reducción de la necesidad de mantenimiento. La gran mayoría de los tipos de suelo son adecuados para ser estabilizados con cemento Portland, lo que conlleva ahorros económicos al evitar los altos costos de transporte de los materiales de préstamo y aumentar la eficiencia de la obra. Además, el suelo-cemento ofrece una mayor resistencia y distribución de cargas, lo que permite utilizar espesores más delgados, logrando así una mayor eficiencia y un menor costo inicial (Serigos, 2009).

La principal desventaja del suelo-cemento es su tendencia a fisurarse por retracción, lo que puede reflejarse en las capas superiores. Sin embargo, existen formas de controlar la reflexión de las fisuras, como la dosificación adecuada,

técnicas de pre-fisuración o aumentando el espesor del mortero que se coloca encima. El tiempo inicial de fraguado del cemento también limita el tiempo de ejecución, lo que puede ser un factor restrictivo en la logística de equipos y herramientas. Además, el suelo-cemento no es resistente a los esfuerzos abrasivos, lo que requiere la construcción de capas de recubrimiento adicionales.. (Serigos, 2009).

Figura 3 :

Aplicación de suelo-cemento en pisos



Nota. Uso de suelo-cemento en pisos. Reproducido de análisis técnico-económico del suelo-cemento en pisos de viviendas de bajos recursos. UNP .2019.

2.3.2.2 *Pavimentos.* El suelo-cemento se aplica tanto en pavimentos flexibles como pavimentos rígidos. En el caso de los pavimentos flexibles, se utiliza como una de las capas inferiores debajo de la capa superior de asfalto y su función es distribuir la carga a la capa subyacente. En el caso de los pavimentos rígidos, se coloca debajo de la losa de hormigón y su función es proporcionar una superficie uniforme, estable y no sujeta a hundimientos. (Serigos, 2009).

En zonas rurales o periurbanas donde el tráfico vehicular es ligero y poco frecuente, no es necesario construir pavimentos de alta calidad (como hormigón o asfalto). En estas situaciones, la estabilización del suelo local con cemento Portland es una solución técnica eficaz y económica tanto en su costo inicial como de mantenimiento. Los caminos de tierra o con ripio, que carecen de un aglutinante, son menos duraderos, más propensos a deformarse y más vulnerables al agua en comparación con el suelo-cemento. Además, la estabilización del suelo local con cemento Portland ahorra costos de transporte y reduce el impacto ambiental al evitar la explotación de canteras. (Serigos, 2009).

En Argentina, se han construido más de 1.500 km de bases y sub-bases de suelo-cemento utilizando pavimentadoras. A pesar de que el país tiene una larga trayectoria en el uso de suelo-cemento como material para carreteras, a finales de la década de 1970 comenzó a perder importancia como alternativa estructural, lo que también afectó a la construcción de carreteras con bases cementadas. Esta disminución en la utilización de suelo-cemento, junto con la falta

general de capacitación y formación en la construcción de carreteras, ha generado una importante necesidad de conocimientos e instrucción para técnicos y operadores de equipos relacionados con esta actividad. (Instituto del Cemento Portland Argentino, 2015)

Retomando la era contemporánea, en el año 1930 se tiene constancia de la construcción en suelo cemento en los Estados Unidos. El suelo cemento consiste en una mezcla de suelo o tierra pulverizada con cemento Portland y agua. Esta técnica, muy extendida en los Estados Unidos, inicialmente se utilizó para la construcción de carreteras, calles y pavimentos de aeropuertos. (Portland Cement Association, 1995).

Figura 4:

Uso de suelo-cemento en pavimentos



Nota. Uso de suelo-cemento en pavimentos. Reproducido de manual de estabilización de suelos con cemento o cal. ANCADE, ANTER, IECA. 2009

2.3.2.3 Protección de Taludes. Después de la Segunda Guerra Mundial, se empezó a utilizar suelo-cemento como revestimiento de taludes en Estados Unidos. Esta técnica reemplazó a los revestimientos de rocas sueltas, ya que al estabilizar el suelo local se evitaban los altos costos de transporte de materiales. En 1951, se construyó una sección de prueba a escala real en la playa sureste del lago de la presa Bonny, en Colorado, para probar la resistencia del material en condiciones severas de servicio, incluyendo olas y nieve con más de cien ciclos de

congelación y descongelación al año. Debido a los resultados exitosos de esta prueba, el uso de suelo-cemento se extendió ampliamente para la protección de taludes en obras hidráulicas de todo tipo. (Serigos, 2009).

2.3.2.4 *Revestimientos*. Se deben lograr superficies lisas y planas con aristas rectas y uniformes en las distintas terminaciones. Es importante prestar especial atención a las áreas de alto riesgo de humedad, como baños y cocinas, y realizar un cuidadoso tratamiento de impermeabilización en estas zonas.. (Toirac,2008).

El suelo-cemento se puede emplear como recubrimiento para contenedores de líquidos, ya que tiene una baja permeabilidad. En la elaboración de la mezcla de suelo-cemento para esta aplicación, se debe considerar la permeabilidad como el parámetro principal; cuanta más cantidad de cemento se utilice, menor será la permeabilidad del material (Serigos, 2009). Además de ser utilizado en el revestimiento de estanques y lagunas, también se usa comúnmente en la construcción de superficies para almacenamiento de carbón. Los revestimientos de suelo-cemento también pueden ser empleados en vertederos. (Serigos, 2009)

2.3.3 Suelos deficientes que afectan la estabilización suelo y cemento

Entre los materiales que no reaccionan bien ante una proporción relativamente pequeña de cemento, es decir, que requieren una gran cantidad de cemento para endurecer, se pueden mencionar: suelos orgánicos, suelos altamente

plásticos, suelos muy finos, suelos muy permeables y suelos altamente expansivos (Toirac, 2008)

Los suelos limosos y arcillosos que tienen alta plasticidad necesitan una cantidad significativa de cemento debido a su baja resistencia y alta plasticidad (Toirac, 2008)

Los suelos con alta cantidad de materia orgánica no son recomendables para la estabilización con cemento, ya que este tipo de suelos presentan dificultades en el proceso y requieren una gran cantidad de cemento para poder endurecer. En general, no se recomienda utilizar suelos orgánicos para la estabilización con cemento. (Toirac, 2008)

2.3.4 Suelos aptos para la estabilización suelo-cemento

Es posible utilizar prácticamente cualquier tipo de suelo para producir suelo-cemento, excepto aquellos que contienen altas cantidades de material orgánico. No obstante, si se desea obtener una mezcla de calidad y reducir el consumo de cemento, la cantidad de suelos aptos se reduce significativamente (Toirac, 2008).

Los suelos que se adecuados para las mezclas de suelo-cemento son aquellos que tienen un consumo de cemento en peso de entre el 5% y el 12% con respecto al peso del suelo. (Toirac, 2008).

La mezcla de suelo-cemento con suelos aptos debe tener buena estabilidad en la contracción, una absorción de agua apropiada y lograr las resistencias necesarias en el menor tiempo posible (Toirac, 2008).

En general, los suelos aptos para la producción de suelo-cemento tienen una granulometría abierta, sin un tamaño predominante, y una plasticidad que proporciona cohesión a la mezcla, mejorando la trabajabilidad y el aislamiento térmico sin generar agrietamientos por contracción. (Toirac, 2008).

Los suelos con mayor contenido de partículas finas suelen necesitar mayores cantidades de cemento para cumplir con los requisitos de la mezcla de suelo-cemento. Además, los suelos altamente plásticos, con un índice de plasticidad superior a 8, pueden generar grumos que no se desmenuzan durante el proceso de mezclado y que posteriormente se desintegran durante el servicio, lo que debilita la estructura del material. (Serigos, 2009)

La presencia de suelos con alto contenido de finos y baja plasticidad en arenas o gravas uniformemente graduadas puede resultar ventajosa, ya que estos suelos pueden llenar los espacios vacíos de la estructura granular y reducir la cantidad de cemento requerida la mezcla (Serigos, 2009)

Los suelos que contienen más del 2% de materia orgánica se consideran inapropiados para su uso en mezclas de suelo-cemento. Algunos tipos de materia orgánica pueden impedir el proceso normal de endurecimiento (Serigos, 2009)

2.4 NORMA GENERAL DE DOSIFICACIÓN DE SUELO-CEMENTO

Determinar la cantidad adecuada de cemento para una mezcla de suelo-cemento se basa en la idea de que pequeñas cantidades de cemento pueden mejorar significativamente la resistencia mecánica del suelo después de ser debidamente compactado y curado, lo que la hace superior a otras capas de pavimento. Sin embargo, la acción las y las condiciones climáticas pueden provocar la desagregación de la mezcla con el tiempo, lo que haría que perdiera la estabilización alcanzada y se convirtiera en una simple mezcla compactada de suelo y cemento con baja calidad y sin definición clara. Por lo tanto, la Norma General de Dosificación se asegura de que se determine la cantidad de adecuada para garantizar que la mezcla tenga características mejoradas y duraderas, para lo cual se han desarrollado ensayos de durabilidad de mojado y secado. (Rocha, 2002).

La dosificación del cemento en la mezcla de suelo-cemento se realiza a través de un proceso experimental. Se realizan varios ensayos utilizando diferentes cantidades de cemento y se analizan los resultados obtenidos para determinar la cantidad mínima necesaria de cemento que permita estabilizar el suelo, de acuerdo al concepto del suelo-cemento. (Rocha, 2002).

La Norma General de Dosificación de Suelo-cemento se puede resumir en las siguientes operaciones:

1. Seleccionar una muestra representativa del suelo a utilizar.
2. Secar la muestra y tamizarla para obtener las fracciones adecuadas.
3. Determinar las propiedades de absorción del agregado grueso.
4. Determinar el contenido de humedad de la muestra.
5. Preparar una muestra de mezcla total.
6. Pesar con exactitud las cantidades previstas de suelo, cemento y agua.
7. Mezclar los materiales cuidadosamente en un recipiente metálico limpio y no absorbente.
8. Compactar la mezcla en un molde con capa delgada de aceite comercial.
9. Curar la muestra por un periodo determinado de tiempo.
10. Determinar la resistencia a la compresión de la muestra curada.

2.5 NORMATIVA TÉCNICA PARA LA ESTABILIZACIÓN SUELO-CEMENTO

La normativa peruana para estabilización de suelos con cemento se rige a partir de la norma “CE020. Estabilización de suelos y taludes” donde se considera:

La adición de cemento al suelo debe mejorar sus propiedades mecánicas, sin llegar a convertirlo en un mortero hidráulico extremadamente rígido. Antes de mezclar el suelo con cemento, el profesional a cargo debe verificar que el porcentaje de finos que pasan el tamiz N°200 se encuentre entre el 5% y el 35%.

Se puede utilizar cualquier tipo de cemento, aunque generalmente se recomienda el cemento de fraguado y endurecimiento normales. Si se necesita contrarrestar los efectos de la materia orgánica, se recomienda usar cementos de alta resistencia. En áreas con bajas temperaturas, se puede utilizar cementos de fraguado rápido o agregar cloruro de calcio como aditivo.

La capa estabilizada con cemento debe tener un espesor mínimo de 10 cm y puede recibir una capa de cobertura superficial asfáltica de poco espesor (1,5 cm) para tráfico ligero a medio, o puede ser la base para un pavimento rígido o flexible de alta calidad. Es importante asegurarse de que el suelo no contenga materiales perjudiciales para el fraguado o la resistencia del pavimento.

Para determinar el contenido de cemento adecuado, se deben realizar ensayos de granulometría para verificar que el límite líquido sea menor al 50% y el índice de plasticidad menor a 25%. El contenido de cemento se determinará a través de ensayos de compactación, durabilidad y compresión simple.

Para lograr una estabilización flexible, el porcentaje de cemento debe estar entre 1% y 4%, lo que disminuirá la plasticidad y aumentará ligeramente la

resistencia. Se controla mediante pruebas de laboratorio similares a las utilizadas en materiales estabilizados con cal.

Para lograr una estabilización rígida, el porcentaje de cemento debe estar entre 6% y 14%, lo que mejorará el comportamiento de las bases y aumentará el módulo de elasticidad, evitando fracturas en la capa superficial. El porcentaje óptimo de cemento debe ser determinado mediante pruebas de laboratorio con diferentes cantidades de cemento.

Es responsabilidad del profesional encargado seleccionar y verificar el tipo de cemento adecuado para suelos con plasticidad media a alta. Debido a la baja resistencia al desgaste, se deben utilizar capas superficiales de protección.

2.6 VÍAS

Son un elemento esencial en el crecimiento de una nación, debido a que su objetivo es satisfacer la demanda de transporte de personas y mercancías, lo que facilita la interacción entre las comunidades rurales y urbanas, fomentando el intercambio comercial y de servicios.

2.6.1. Tipos de vías

Las carreteras pueden ser clasificadas de diferentes maneras, y una de estas formas es de acuerdo a su funcionalidad. Existen las vías primarias, las cuales son troncales, transversales y accesos a capitales de departamento, y cumplen con la

función básica de integrar las principales zonas de producción y consumo del país, y conectan al país con otros países.

Este tipo de carreteras pueden ser de calzadas divididas según las exigencias particulares del proyecto, y deben funcionar pavimentadas. También existen las vías secundarias, que conectan las cabeceras municipales entre sí y/o que provienen de una cabecera municipal y conectan con una carretera Primaria.

Las carreteras consideradas como secundarias pueden funcionar pavimentadas o en afirmado. Finalmente, existen las vías terciarias, que son aquellas que unen las cabeceras municipales con sus veredas o unen veredas entre sí. Estas carreteras deben funcionar en afirmado, y en caso de ser pavimentadas, deberán cumplir con las condiciones geométricas estipuladas para las vías secundarias.

Las carreteras son esenciales para el desarrollo del país, ya que facilitan la movilización de las personas, bienes y servicios, así como la integración de las comunidades rurales y urbanas.

2.6.2 Caminos rurales o vecinales

Este es un sistema de transporte que se construye normalmente para utilizar o explotar los recursos de áreas rurales o subdesarrolladas. Estos sistemas son únicos en su género y han sido diseñados para soportar volúmenes bajos de tráfico con cargas por eje potencialmente extremas. (Keller,2004)

El objetivo de este estudio es estabilizar el suelo de las carreteras rurales utilizando cemento tipo Portland, debido a que este material es compatible con las arenas y gravas finas que se encuentran comúnmente en este tipo de vías, el propósito de la estabilización es aumentar la resistencia del suelo frente a las cargas que se generan con el tráfico.

2.7 UBICACIÓN Y CARACTERÍSTICAS DE LA ZONA DE ESTUDIO

2.7.1 Características del distrito de Pocollay:

Según el Plan de desarrollo local del distrito de Pocollay(2020):

El área de Pocollay se encuentra asentado en un suelo de tipo IV y en su entorno se encuentra una variedad de tipos de suelo I en el Parque Perú, hacia tipo IV y V en Chorrillos.

Tipo IV

Este tipo de suelo presenta condiciones de cimentación regulares a malas, con capacidades portantes que varían entre 1 y 1.5 kg/cm² en estado seco. En cuanto a su estratigrafía, consta de un primer estrato compuesto por rellenos, arenas y anillos con alta concentración de sales, que puede formar uno o varios estratos con una profundidad de hasta 0.50 metros, seguido por la toba volcánica de potencia indeterminada. Los sectores IV y V del Cono Norte son particularmente críticos y susceptibles a sufrir los mayores daños en caso de un terremoto, lo que los convierte en las zonas más peligrosas del distrito.

Expansión urbana

En el Distrito de Pocollay, la urbanización está creciendo gradualmente, especialmente en el área del cono norte, que tiene un suelo con capacidad portante limitada, de 0,5 a 1,5 kg/cm².

El distrito se puede dividir en tres zonas distintas: la zona agrícola situada entre los canales de regadío Caplina y Uchusuma, la zona central del cercado de Pocollay y las zonas áridas y desérticas que son llanas o onduladas.

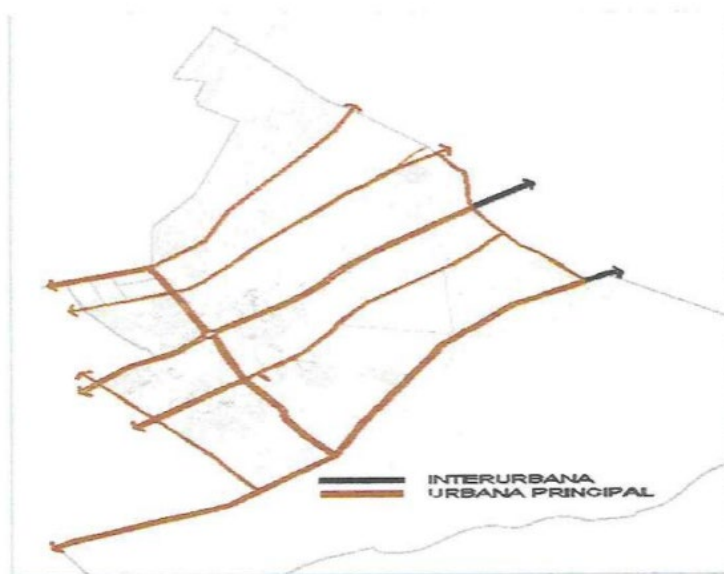
Durante la última década, la población se ha establecido en asentamientos informales en la zona del cono norte y cono sur, que no tienen una formalización y aprobación total, y se organizan a través de grupos como juntas de compradores o asociaciones de vivienda.

Vías principales

En la actualidad, en el distrito de Pocollay, el 75% de las carreteras se encuentran pavimentadas con asfalto, mientras que el 25% restante sigue siendo una brecha sin asfaltar. Entre las áreas que todavía no han sido pavimentadas se encuentran la Asociación de Vivienda "Las Colmenas", "Tupac Amaru, la Avenida de los Productores, la Asociación AAPITAC, la Asociación de Vivienda Santa Rita y la Interconexión Rural de Vías, entre otras.

Figura 5 :

Vías principales del Distrito de Pocollay



Nota. Vías principales del distrito de Pocollay. Reproducido del plan de Gobierno Local. Municipalidad de Pocollay. 2020

Condición climática y meteorológica:

El clima del Distrito se caracteriza por ser de tipo subtropical desértico o árido debido a su ubicación geográfica. En este clima, las temperaturas son cálidas durante el día y frescas durante la noche, con lluvias poco frecuentes e irregulares que suelen ser inferiores a los 150mm en años normales. Además, hay una alta nubosidad y se pueden distinguir dos estaciones contrastantes: el verano (Diciembre-Marzo) y el invierno (Julio-Setiembre), mientras que el otoño y la primavera son estaciones intermedias. La razón de la falta de precipitaciones se

debe a que los vientos alisios húmedos se enfrían al pasar sobre las aguas frías de la Corriente Peruana, produciendo un colchón de neblinas a una altura de 800 a 1 000 m.s.n.m. con temperaturas bajas. Por encima de este colchón, la temperatura aumenta y el aire cálido absorbe la humedad, lo que impide la formación de nubes de lluvia. La vegetación predominante es herbácea.

Precipitación

Las estaciones pluviométricas se ubican a lo largo de las subcuencas de Tacna, cercanas a la zona. La zona pluvial de la cuenca se encuentra en la vertiente occidental, que es la menos lluviosa y se extiende desde la planicie costera hasta la Cordillera El Barroso, que tiene una altitud de 5,700 m.s.n.m. En esta zona, la cantidad de precipitación varía desde unos pocos milímetros hasta 300 mm, principalmente en los meses de diciembre a marzo. La zona seca o cuenca seca se encuentra entre el nivel del mar y los 3,900 m.s.n.m., sin escorrentía superficial ni aporte a los ríos. Es importante destacar que la franja costera más cercana al mar está influenciada por la alta condensación de neblinas invernales provenientes del Pacífico.

.2.7.2 Ubicación del Proyecto

Pocollay es un distrito situado en la parte meridional de Perú, hacia el norte de la ciudad de Tacna, en las coordenadas geográficas 17°59'33" de latitud sur y 70°13'03" de longitud oeste, con una altitud media de 670 metros sobre el nivel del mar. Tiene una superficie de 265.65 kilómetros cuadrados y una densidad

poblacional de 58.4 habitantes por kilómetro cuadrado. En términos políticos, forma parte de la Provincia de Tacna.

Delimitación

Por el Norte-Noreste y Este: Distritos de Palca, Calana y Pachía; asimismo con el Distrito de Ciudad Nueva.

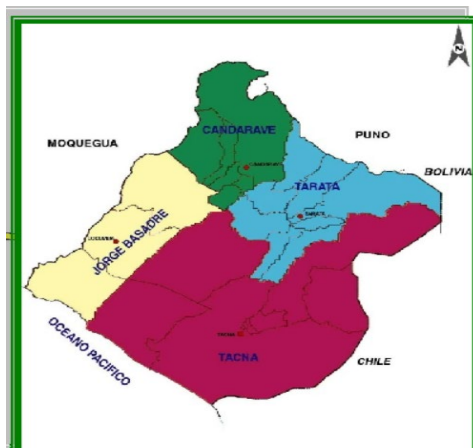
Por el Sur-Este y Sur-Oeste: Distritos de Tacna y Coronel Gregorio Albarracín Lanchipa.

Por el Sur-Este: Distrito de Tacna.

Por el Sur-Oeste: Distritos de Alto de la Alianza y Ciudad Nueva.

Figura 6:

Mapa regional de Tacna



Nota. Mapa regional de Tacna. Reproducido del plan de Gobierno Local.

Municipalidad de Pocollay. 2016

Figura 7:

Delimitación del Distrito de Pocollay



Nota. Ubicación del distrito de pocollay. Reproducido del plan de Gobierno

Local. Municipalidad de Pocollay. 2016

CAPITULO III

MARCO METODOLÓGICO

En razón a los ensayos realizados para la ejecución de la presente tesis, se ha visto conveniente realizar los presentes ensayos, en el marco del Manual de Ensayo de Materiales de la Dirección General de Caminos y Ferrocarriles perteneciente al Ministerio de Transportes Comunicaciones, que tiene por aprobación a través de la Resolución Directoral N° 18-2016-MTC/14.

3.1 ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO (MTC E-107):

3.1.1 Análisis por medio de tamizado de la fracción retenida en el tamiz de 4,760 mm

1) Se debe separar la muestra retenida en el tamiz de 4,760 mm (N° 4) en varias fracciones utilizando los tamices necesarios, los cuales dependerán del tipo de muestra o de las especificaciones del material que se está ensayando.

2) La técnica de tamizado manual implica mover el tamiz o tamices de forma oscilatoria, haciendo que la muestra se desplace en círculos sobre la malla para mantenerla en constante movimiento. Antes de desmontar los tamices, se debe comprobar que la operación de tamizado ha finalizado, lo que se determina cuando no pasa más del 1% de la muestra retenida durante un minuto. Si quedan partículas en la malla, se deben separar con un cepillo y

reunirlas con lo retenido en el tamiz. En el caso de utilizar una tamizadora mecánica, se debe operar durante 10 minutos y verificar los resultados mediante el método manual.

3) La balanza utilizada para pesar cada fracción tiene una precisión del 0,1%. Es importante asegurarse de que la suma del peso de todas las fracciones y el peso inicial de la muestra no presenten una diferencia mayor al 1%.

3.1.2 Análisis granulométrico de la fracción fina

4) El análisis granulométrico de la fracción que pasa el tamiz de 4,760 mm (Nº 4), se hará por tamizado y/o sedimentación según las características de la muestra y según la información requerida.

5) Se pueden tamizar en seco aquellos materiales arenosos que contengan una baja proporción de limo y arcilla, y cuyos terrones se desintegren fácilmente en estado seco.

6) Para procesar materiales limo-arcillosos que no se rompen fácilmente en estado seco, se utilizará el método de procesamiento en húmedo.

7) Si se desea obtener la distribución completa de los tamaños de partículas en la muestra de suelo, incluyendo aquellas más pequeñas que el tamiz de 0,074 mm (Nº 200), se empleará el método de sedimentación con un hidrómetro para obtener los datos correspondientes de la fracción final. Ver Modo Operativo MTC E 109-2009.

8) Es posible emplear métodos simplificados para calcular la cantidad de partículas que son más pequeñas que un tamaño determinado, según sea necesario.

9) La fracción de tamaño mayor que el tamiz de 0,074 mm (N° 200), se analizará por tamizado en seco, lavando la muestra previamente sobre el tamiz de 0,074 mm (N° 200).

10) Procedimiento para el análisis granulométrico por lavado sobre el tamiz de 0,074 mm (N° 200).

11) Se separan mediante cuarteo, 115 g para suelos arenosos y 65 g para suelos arcillosos y limosos, pesándolos con exactitud de 0,01 g.

12) Humedad higroscópica. Se pesa una porción de 10 a 15 g de los cuarteos anteriores y se seca en el horno a una temperatura de 110 ± 5 °C. Se pesan de nuevo y se anotan los pesos.

13) Se coloca la muestra en un recipiente apropiado, cubriéndola con agua y se deja en remojo hasta que todos los terrones se ablanden.

14) Después se procede a lavar la muestra en el tamiz de tamaño 0,074 mm (N° 200) usando una cantidad generosa de agua y evitando frotar la muestra contra el tamiz para prevenir la pérdida de cualquier partícula retenida en él.

15) Se recoge lo retenido en un recipiente, se seca en el horno a una temperatura de 110 ± 5 °C y se pesa.

16) Se tamiza en seco siguiendo el procedimiento indicado en las secciones 6.1.2 y 6.1.3.” (Manual de Ensayo de Materiales, Ministerio de Transportes y Comunicaciones, pag. 44).

Figura 8:

Análisis granulométrico en tamiz



Nota. Reproducido del Granulometría: Análisis granulométrico de suelos por tamizado. 2018 (www.cotecno.cl/granulometria-analisis-granulometrico-suelos)

3.2 DETERMINACIÓN DEL LÍMITES DE CONSISTENCIA

(MTC E-110):

1) Se debe colocar una cantidad del suelo previamente preparado en la copa del dispositivo de límite líquido en el punto donde la copa se apoya en la base, aplicando presión y extendiéndola en la copa

hasta que tenga una profundidad de alrededor de 10 mm en el punto más bajo, de manera que forme una superficie lo más plana posible. Se debe tener precaución al preparar la muestra para evitar la formación de burbujas de aire en la pasta, tratando de utilizar la menor cantidad de pasadas de espátula posible. Además, es recomendable mantener el suelo restante en el plato de mezclado y cubrirlo con un paño húmedo para mantener la humedad en la muestra.

2) Se debe usar un acanalador para hacer una ranura en el suelo contenido en la copa del dispositivo de límite líquido, siguiendo una línea que conecte el punto más alto y el punto más bajo en el borde de la copa. Después de hacer la ranura inicial en el suelo contenido en la copa con el acanalador, se debe continuar la incisión del suelo en forma de arco, manteniendo el ángulo de corte constante en todo momento. En algunos suelos, es posible que no se pueda hacer la ranura en una sola pasada sin desgarrar el suelo, por lo que pueden ser necesarias varias pasadas para completar la ranura. En lugar de utilizar únicamente el acanalador, existe una alternativa para cortar la ranura en el suelo. Se puede empezar cortando la ranura con una espátula a una dimensión ligeramente inferior a la requerida y luego terminar el corte con el acanalador para alcanzar las dimensiones finales necesarias.

3) Es importante revisar que no hayan restos de suelo debajo de la copa antes de realizar el ensayo. Después, es necesario levantar y soltar la copa, girando el manubrio a una velocidad entre 1,9 y 2,1 golpes por segundo, hasta que las dos mitades de suelo se unan en la base de la ranura con una longitud de 13v mm (o 1/2 pulgada).

4) Se debe comprobar que no se haya producido el cierre anticipado de la ranura debido a la presencia de burbujas de aire, lo cual se puede verificar asegurándose de que ambos lados de la ranura se hayan desplazado en conjunto y de manera similar en cuanto a su forma. En caso de que una burbuja haya ocasionado el cierre prematuro de la ranura, se debe volver a formar la superficie del suelo en la copa, agregando una pequeña cantidad de suelo para compensar la pérdida durante el proceso de ranuración. Después, se debe repetir el procedimiento desde el paso 6.1 hasta el 6.3 utilizando un contenido de humedad más alto. Si, después de varias pruebas con contenidos de humedad sucesivamente más altos, la pasta de suelo sigue deslizándose en la copa o si se requieren menos de 25 golpes para cerrar la ranura, se considerará que no se puede determinar el límite y se deberá informar que el suelo es no plástico, sin realizar el ensayo de límite plástico.

5) Anote la cantidad de golpes, N, requeridos para cerrar la ranura. Luego, tome una muestra de suelo de ancho aproximado al de la

espátula, extendiéndola desde un extremo al otro de la superficie del suelo en ángulo recto a la ranura, incluyendo la porción de la ranura en la que el suelo se deslizó junto con la muestra. Coloque esta muestra en un recipiente de peso conocido y cúbralo.

6) Se debe retornar el suelo sobrante contenido en la copa al plato de mezclado para su posterior uso. Luego, se deben limpiar y secar tanto la copa como el acanalador, y proceder a colocar la copa nuevamente en su soporte para su uso en la siguiente prueba.

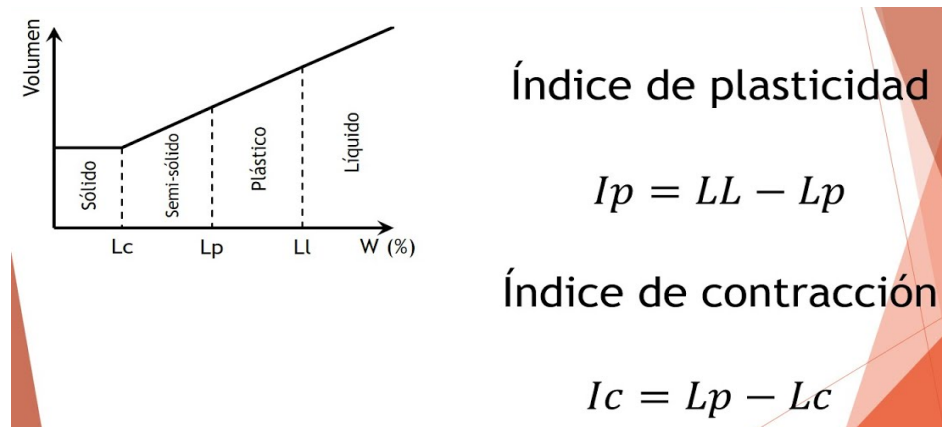
7) El procedimiento consiste en volver a mezclar completamente la muestra de suelo en el plato de mezcla, y luego agregar agua destilada para incrementar el nivel de humedad de la muestra y disminuir el número de golpes necesarios para cerrar la ranura. El proceso de realizar pruebas adicionales debe repetirse al menos dos veces, siguiendo los pasos del 6.1 al 6.6, obteniendo números de golpes cada vez más bajos para cerrar la ranura. Se deben realizar tres pruebas en total, una con un rango de 25 a 35 golpes para cerrar la ranura, otra con un rango de 20 a 30 golpes y otra con un rango de 15 a 25 golpes.

8) Se debe utilizar el método de ensayo NTP 339.127 para calcular el contenido de humedad, W_n , del espécimen de suelo de cada prueba. Es importante que se realice la medición de los pesos iniciales inmediatamente después de terminar el ensayo. En caso de que el ensayo

se interrumpa por más de 15 minutos, el espécimen obtenido debe pesarse en ese momento de interrupción.” (Manual de Ensayo de Materiales, Ministerio de Transportes y Comunicaciones, pag. 67)

Figura 9:

Límites de Atterberg



Nota. Grafica de Límites de consistencias del suelo. Reproducido de Mecánica de Suelos de Andrés Gavidia. 2019 (www.youtube.com)

3.3 CONTENIDO DE HUMEDAD NATURAL (MTC E-107):

- 1) Calcular y anotar el peso de un recipiente que esté libre de suciedad y humedad (y también su tapa si es que se usa).
- 2) Elegir muestras de prueba que sean representativas para llevar a cabo el ensayo.

3) Introducir la muestra de prueba húmeda en el recipiente y, si se usa, asegurar la tapa en su lugar. Medir la masa del recipiente y del material húmedo utilizando una balanza adecuada según el peso del espécimen. Anotar este valor en un registro.

4) Si se utilizó la tapa, retirarla y colocar el recipiente con el material húmedo en el horno. Secar el material hasta que alcance una masa constante. Mantener el proceso de secado en el horno a una temperatura de 110 ± 5 °C, a menos que se especifique otra temperatura. El tiempo necesario para alcanzar el peso constante variará según el tipo de material, tamaño de la muestra, el tipo y capacidad del horno, y otros factores. La influencia de estos factores suele establecerse mediante un buen juicio y experiencia con los materiales y equipos empleados en la prueba.

5) Tras el secado del material hasta que alcance un peso constante, se sacará el recipiente del horno y se dejará enfriar a temperatura ambiente hasta que sea posible manejarlo con las manos sin interferir en la medición en la balanza. Usando la misma balanza del segundo paso del ensayo, se debe determinar el peso del contenedor y el material seco al horno. Este valor debe ser registrado. Si se sospecha que el espécimen puede estar absorbiendo humedad del aire antes de su pesaje en seco, se deben usar las tapas de los contenedores.” (Manual de Ensayo de Materiales, Ministerio de Transportes y Comunicaciones, pag. 44)

3.4 ENSAYO PROCTOR MODIFICADO (MTC E-115):

6) Sin llevar a cabo un proceso previo de secado en la muestra, tamizarla a través del tamiz correspondiente de 4,75 mm (Nº 4), 9,5 mm (3/8 de pulgada) o 19,0 mm (3/4 de pulgada), según el Método que se vaya a utilizar (A, B o C). A continuación, determinar el contenido de agua en el suelo procesado.

1) Preparar un mínimo de cuatro (preferiblemente cinco) muestras de prueba con diferentes contenidos de agua para que estos tengan un contenido de agua lo más cercano posible al valor óptimo estimado. Es recomendable que el primer espécimen preparado tenga un contenido de humedad cercano al óptimo, lo cual se logra mediante la adición gradual de agua y mezcla según se requiera. Seleccionar los reservorios de agua para el resto de las muestras de suelo de modo que se logren resultados de al menos dos muestras húmedas y dos secas, con una variación de aproximadamente el 2% del contenido de agua óptimo. Es imprescindible contar con al menos dos muestras con contenidos de agua tanto en el lado seco como en el húmedo del valor óptimo para lograr una definición precisa de la curva de compactación del peso seco unitario. En algunos suelos con un valor óptimo de contenido de agua muy alto o una curva de compactación relativamente plana, se requerirán incrementos considerables en el contenido de agua para obtener un Peso Unitario Seco

Máximo bien definido. Es recomendable que los incrementos de contenido de agua no superen el 4%.

2) Usar aproximadamente 2,3 kg (5 lbm) del suelo tamizado en cada espécimen que se compacta empleando el Métodos A ó B; ó 5,9 kg (13 lbm) cuando se emplee el Método C. Para obtener los contenidos de agua del espécimen que se indica en este ensayo, asimismo, para añadir o remover la cantidad adecuada de agua, se debe agregar el líquido gradualmente al suelo mientras se mezcla. En caso de necesitar eliminar el agua, es necesario dejar que el suelo se seque al aire libre a temperatura ambiente o en un dispositivo de secado, evitando que la temperatura de la muestra supere los 60°C (140°F).

3) Compactación. -Después del curado, si se requiere, cada espécimen se compactará de la manera:

a) Determinar y anotar la masa del molde y el plato dev base.

4) Ensamble el molde y el collar al plato base y asegúrese de que estén apoyados en una base sólida y uniforme, como un cilindro o cubo de concreto con una masa mínima de 91kg (200 lbm). Es necesario fijar firmemente el plato base a una superficie resistente. La forma en que se sujete el plato debe permitir que se retire fácilmente el molde, el collar y el plato una vez finalizada la compactación.

5) Es necesario compactar el espécimen en cinco estratos, asegurándose de que cada uno tenga un espesor similar después de la compactación. Antes de compactar, se debe colocar el suelo suelto dentro del molde y extenderlo uniformemente en una capa de grosor homogéneo. Es necesario compactar el suelo suavemente antes de la compactación propiamente dicha, hasta que el suelo ya no se encuentre en estado suelto o esponjoso. Esto se puede lograr usando un pisón manual de compactación o un cilindro de 5 mm (2 pulg) de diámetro. Luego de compactar cada una de las primeras cuatro capas, cualquier suelo adyacente a las paredes del molde que no haya sido compactado o extendido cerca de la superficie compactada debe ser recortado. Es posible incluir el suelo recortado con el suelo adicional para la próxima capa, utilizando un cuchillo u otro utensilio disponible. La cantidad total de suelo utilizado deberá ser tal que la quinta capa compactada se extienda ligeramente dentro del collar, pero no más de 6 mm (1/4 de pulgada) por encima de la parte superior del molde. Si la quinta capa se extiende más allá de los 6 mm (1/4 de pulgada) de la parte superior del molde, el espécimen deberá ser descartado. Si el último golpe del pisón para la quinta capa queda por debajo de la parte superior del molde de compactación, el espécimen también deberá ser descartado.

b) Compactar cada capa con 25 golpes para el molde de 101,6 mm (4 pulg) ó 56 golpes para el molde de 152,4 mm (6 pulgadas).

c) Al usar el pisón manual, asegurarse de que la guía no se levante mientras sube. Mantener la guía estable y a no más de 5 grados de la vertical. Aplicar los golpes uniformemente a una tasa de alrededor de 25 golpes por minuto, de manera que cubra toda la superficie del espécimen de manera uniforme.

d) Remover el collar y el plato base del molde una vez que se haya completado la compactación de la última capa. Usar un cuchillo para ajustar o arreglar el suelo cerca del collar, aflojando el suelo y removiéndolo sin dañar la parte superior del molde.

e) Utilizando una regla recta, nivelar con cuidado el espécimen compactado por encima y por debajo del molde, a fin de lograr superficies planas en ambas partes del mismo. Realizar un corte previo en la parte superior del molde con un cuchillo puede prevenir que el suelo se desprenda debajo de dicha superficie. En caso de haber agujeros en la superficie, rellenarlos con suelo no utilizado o cortado del espécimen, presionar con los dedos y volver a nivelar con la regla recta tanto en la parte superior como inferior del molde. Una vez que se ha medido el volumen del molde sin la base, se deben repetir las mismas operaciones en la parte inferior del espécimen. Sin embargo,

si se trabaja con suelos muy secos o muy húmedos, existe el riesgo de perder suelo o agua al retirar la base del molde. En estos casos, es mejor dejar la base adherida al molde. Si se hace así, es necesario calibrar el volumen del molde con la base unida, ya sea con el plato base original o con un plato de plástico o vidrio.

f) Determine y registre la masa del espécimen y molde aproximación al gramo. Cuando se deja unido el plato base al molde, determine y anote la masa del espécimen, molde y plato de base con aproximación gramo.

g) Extraer el suelo del molde y tomar una muestra para medir su contenido de agua. Puede utilizarse todo el espécimen o una muestra representativa del mismo para realizar la medición. En caso de utilizarse todo el espécimen, se debe romper para facilitar el proceso de secado. De otra manera se puede obtener una porción cortando axialmente por el centro del compactado y removiendo 500 g del material de los lados cortados. Obtener el contenido de humedad de al Método ensayo NTP 339.127.” (Manual de Ensayo de Materiales, Ministerio de Transportes y Comunicaciones, pag. 44)

Figura 10:

Realización de compactación para Proctor



3.5 PESO ESPECÍFICO DEL MATERIAL DE AGREGADO

GRUESO Y AGREGADO FINO AGREGADO FINO (MTC E-205):

1. Agregar al frasco una porción de 500 gramos de la muestra preparada y luego llenarlo parcialmente con agua a una temperatura de 23 ± 2 °C hasta alcanzar la marca de 500 cm³. Es necesario agitar el frasco de forma manual o mecánica para eliminar cualquier burbuja de aire presente en la muestra.

2. Es necesario rodar, invertir y agitar el frasco de forma manual para eliminar completamente todas las burbujas de aire presentes en la muestra.

3. Se puede utilizar un método mecánico para extraer las burbujas de aire de la muestra mediante vibración externa, siempre y cuando se asegure que este método no degrade la calidad de la muestra.

4. Una vez que se hayan eliminado las burbujas de aire, es importante ajustar la temperatura del frasco y su contenido a $23 \pm 2^{\circ}\text{C}$. Luego, se debe llenar completamente el frasco hasta su capacidad calibrada y determinar el peso total del frasco, espécimen y agua. Este peso total se utilizará para calcular la densidad del suelo en el ensayo de densidad de campo.

5. Sacar el material fino del envase, colocarlo en una estufa y dejar que se seque hasta que su peso no varíe a una temperatura de $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$. Luego, dejar enfriar el material a temperatura ambiente durante un lapso de $\frac{1}{2}$ a $1 \frac{1}{2}$ hora y determinar su peso.” (Manual de Ensayo de Materiales, Ministerio de Transportes y Comunicaciones, pag. 309)

3.6 AGREGADO GRUESO (MTC E-206):

1. Secar la muestra a una temperatura constante de 110°C y ventilarla durante 1 a 3 horas a temperatura ambiente. Luego, para muestras de tamaño nominal máximo de 37,5 mm o mayores, se deja enfriar hasta una temperatura cómoda al tacto y se sumerge en agua a temperatura ambiente durante $24 \text{ h} \pm 4 \text{ h.}$

2. Si se van a utilizar los valores de peso específico y absorción para mezclar concreto con agregados en su estado natural de humedad, no es necesario secarlos antes de medir. Además, si las partículas se mantienen húmedas antes de la prueba, no es necesario remojarlas durante 24 horas.

3. Se debe retirar la muestra del agua y frotarla sobre un paño absorbente para eliminar toda película visible de agua, aunque la superficie de las partículas todavía parezca húmeda. Luego, se seca en trozos más grandes y se debe tener cuidado para evitar la evaporación durante el proceso. El peso de la muestra se obtiene en condiciones de saturación con superficie seca, y se determina con una aproximación 0,5 g o del 0,05% del peso de la muestra, lo que sea mayor.

4. Una vez se ha realizado el pesaje, se procede de manera inmediata a ubicar la muestra saturada y con superficie seca en la cesta de alambre. Luego, se determina su peso en agua a una temperatura cercana a los 23 °C, con una densidad aproximada de 997 kg/m³ y es importante asegurarse de remover todo el aire atrapado antes de realizar el pesado, agitando el recipiente mientras se encuentra sumergido.

5. La muestra se somete a un proceso de secado hasta que su peso se mantenga constante, empleando una temperatura cercana a los

100 °C y permitiendo que posteriormente se enfríe a la temperatura ambiente durante un lapso de 1 a 3 horas. Alternativamente, se puede esperar a que la muestra alcance una temperatura cómoda al tacto, lo cual suele ocurrir alrededor de los 50 °C, antes de proceder con el pesaje. (Manual de Ensayo de Materiales, Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 20229

3.7 PREPARACIÓN EN EL LABORATORIO DE PROBETAS DE SUELO – CEMENTO (MTC E-1104):

1. Es recomendable dejar los materiales a la temperatura ambiente, idealmente en un rango entre los 18 y 24 °C, antes de iniciar el proceso de preparación.

2. Es conveniente almacenar el cemento en un sitio seco, utilizando recipientes resistentes a la humedad, de preferencia de metal. Para lograr una muestra homogénea, se debe mezclar el cemento de manera cuidadosa. Luego, se recomienda hacer pasar el cemento por un tamiz de malla N° 16 (1,18 mm) para descartar los materiales retenidos, como los terrones o grumos.

3. El agua utilizada para la mezcla debe ser apta para el consumo humano (potable).

4. La muestra de suelo debe ser secada hasta que sea friable al introducir una espátula en ella. La forma de secado puede ser

mediante exposición al aire o utilizando un dispositivo de secado, siempre y cuando la temperatura no supere los 60 °C. Es importante manipular la muestra con cuidado para evitar la formación de grumos y preservar el tamaño original de las partículas individuales del suelo.

5. Se debe tamizar una cantidad representativa del suelo pulverizado utilizando tamices de 50 mm, 19,0 mm y 4,75 mm. (N° 4). Se debe desechar todo el agregado retenido en el tamiz de 50 mm (2 pulg). Además, se debe eliminar el agregado retenido en el tamiz de 19,0 mm (3/4 pulg) y reemplazarlo por una cantidad igual, en peso, de material que pase el tamiz de 19,0 mm (3/4 pulg) y sea retenido en el tamiz de 4,75 mm (N° 4). Este material de reemplazo debe obtenerse de la muestra original.

6. Se recomienda que la probeta de suelo cemento se prepare utilizando suelo con un porcentaje de retención en el tamiz de 4,75 mm (No. 4) no superior al 35% y un porcentaje de retención en el tamiz de 425 mm (N° 40) no superior al 85%.

7. Sumergir en agua durante 24 horas el material que ha pasado por el tamiz de 19,0 mm (3/4 pulgada) y que ha sido retenido por el tamiz N° 4. Posteriormente, se debe secar superficialmente y llevar a cabo la determinación de sus propiedades de absorción

mediante el ensayo MTC E206, el cual evalúa el peso específico y absorción del agregado grueso.

8. Tomar una muestra de suelo que pase el tamiz N° 4 y tenga un peso de 100 g. Posteriormente, secar la muestra en un horno hasta que su peso se mantenga constante y determinar su contenido de humedad, lo cual permitirá calcular la cantidad de agua necesaria para agregar a la mezcla de suelo-cemento.

9. Tomar una cantidad representativa del material que ha pasado el tamiz N° 4, así como una porción de la fracción que ha pasado el tamiz de 19,0 mm (3/4") pero ha sido retenida en el tamiz No. 4, y que han sido preparadas según los procedimientos descritos en los numerales 4, 5 y 6. Con estos materiales, preparar una muestra de mezcla total con un tamaño suficiente para elaborar probetas de suelo-cemento.

10. Es necesario pesar con precisión de 5 g (0,01 lb) las cantidades de suelo que han pasado por el tamiz N° 4 y el suelo que se encuentra entre los tamices de 19,0 mm (3/4") y N° 4. Asimismo, es necesario pesar con precisión de 1 g la cantidad de cemento prevista y medir con precisión de 1 ml la cantidad de agua prevista.

11. Las cantidades de suelo, cemento y agua que se utilizan en la mezcla se determinan generalmente a partir de los resultados

obtenidos en otros ensayos. El contenido "óptimo" de agua en la mezcla y la "máxima" densidad a la que se debe compactar la probeta se determinan a través del ensayo. Por otro lado, la cantidad de cemento necesaria suele ser la cantidad adecuada para producir una mezcla de suelo-cemento de calidad apropiada para la construcción de carreteras y bases.

3.7.1 Mezcla

1. Mezcla General. La combinación de suelo y cemento, ya sea mezclada a mano o con una máquina, debe ser preparada en lotes que tengan un 10% más de material del necesario para moldear las probetas. Es importante proteger esta mezcla para evitar la pérdida de humedad.

Posteriormente, se debe tomar una muestra representativa, secarla en un horno y determinar la humedad real. Si la mezcla de suelo-cemento contiene agregado retenido en el tamiz N° 4, se debe pesar una porción de al menos 500 g con una precisión de 1 g para determinar la humedad. Si no hay agregado retenido en el tamiz N° 4, se debe pesar al menos 100 g con una precisión de 0,1 g para la determinación de la humedad.

2. Para mezclar a mano, se debe utilizar un recipiente metálico limpio y no absorbente, o una plancha de acero. La mezcla se debe hacer con un palustre, siguiendo los siguientes pasos:

- a) Mezclar el cemento y el suelo que pasó el tamiz N° 4 hasta que se distribuya uniformemente, sin incluir el material retenido.
- b) Agregar el agua y mezclar hasta obtener una pasta uniforme.
- c) Agregar el material grueso previamente secado superficialmente y mezclar hasta que se distribuya uniformemente dentro de la pasta.

3. Mezcla mecánica. Debe seguirse el orden establecido para la mezcla manual. Con el fin de evitar la separación de los componentes, se debe poner la mezcla en un recipiente de metal limpio y no absorbente, y mezclar manualmente con una paleta. La mezcla y compactación de las muestras deben hacerse de manera continua, y el tiempo transcurrido entre la adición de agua y la compactación final no debe ser mayor a 30 minutos.

3.7.2 Moldeo

1. Se debe aplicar una fina capa de aceite comercial en las superficies interiores del molde, la extensión y los dos discos separadores. Luego, coloque el molde en posición vertical con el anillo espaciador encima del pistón inferior para que se inserte en el molde 25 mm (1 pulgada).

2. Ponga un disco separador en el pistón inferior y ajuste la altura del molde. Luego, agregue una cantidad específica de mezcla al molde, que producirá una muestra con un peso unitario deseado cuando sea compactada a una altura de 142 mm (5,6 pulgadas) dentro del molde.

3. En caso de que el suelo-cemento incluya agregados retenidos en el tamiz N° 4, es importante distribuir la mezcla de manera uniforme dentro del molde utilizando una espátula. Posteriormente, se debe compactar la mezcla con una varilla compactadora, la cual se inserta en la mezcla con un movimiento firme y con algo de impacto, moviéndola hacia arriba y hacia abajo en una misma dirección y repitiendo este movimiento en varios puntos distribuidos uniformemente en la sección transversal del cilindro.

4. Es importante tener precaución durante esta operación para asegurarse de que no queden huecos en la mezcla de suelo-cemento, especialmente en mezclas arcillosas. Se debe repetir este proceso de compactación varias veces, hasta que la mezcla alcance una altura de aproximadamente 150 mm (6 pulgadas).

5. Una vez que la mezcla ha sido compactada hasta una altura de 150 mm, se debe retirar la extensión del molde y colocar un disco separador encima de la mezcla. El anillo espaciador del

extremo inferior también debe ser retirado en este momento. Luego, se coloca el pistón superior en su lugar y se aplica una carga para comprimir la mezcla a una altura de 142 mm (5,6 pulg). Esta carga puede ser aplicada de forma estacionaria mediante una máquina de compresión o de forma dinámica mediante una máquina de impacto.

6. Retire los pistones y discos separadores del molde, pero deje la mezcla de suelo-cemento dentro del molde.

Figura 11:

Moldeo de probetas



Nota. Moldeo de probetas. Reproducido de Construcción en viviendas.

Aceros Arequipa. 2019

3.7.3 Curado

1. . Para curar las probetas, se deben mantener dentro de los moldes en la cámara húmeda por un mínimo de 12 horas. En caso de ser necesario, se pueden dejar por más tiempo. Después de extraer las probetas compactadas, deben ser devueltas a la cámara y se debe evitar que goteen el proceso de curado. Por lo general, las pruebas de compresión se realizan en las probetas en estado húmedo, justo después de ser retiradas de la cámara de curado.

2. En este punto de la preparación, es posible que se requieran otros procedimientos de acondicionamiento, como remojar o secar el suelo-cemento. Estos procedimientos deben especificarse claramente en el informe después del curado inicial de la mezcla.

Figura 12:

Curado de muestras



3.7.4 Refrentado

3. Antes de realizar el ensayo de compresión en las probetas, es necesario asegurarse de que los extremos de estas sean planos, y en caso contrario, se debe refrentar con una precisión de 0,05 mm (0,002 pulgadas) para lograr la separación adecuada del plano.

4. Para refrentar las probetas, se puede utilizar azufre y la capa debe ser muy delgada con una tolerancia de 0,05 mm (0,002 pulg) de separación del plano. Es importante aplicar el refrentado con suficiente tiempo para que endurezca y no se fracture durante el ensayo de compresión, se sugiere un tiempo de 3 horas a 23°C. Durante este

período de endurecimiento, debe mantenerse constante la humedad de las probetas.” (Manual de Ensayo de Materiales, Ministerio de Transportes y Comunicaciones, pag. 1009)

CAPITULO IV

PROCEDIMIENTO Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

4.1 RECONOCIMIENTO Y MUESTREO DE LA ZONA:

El proceso que se realizó durante la presente tesis fue el siguiente:

- 1) Primero se reconoció el área de estudio y las áreas donde podía emplearse la estabilización suelo-cemento, donde se escogieron 2 puntos que puedan representar los caminos vecinales en las distintas asociaciones de vivienda.

Figura 13:

Zonas escogidas para el estudio



2) En los puntos elegidos se realizaron excavaciones para luego llevar las muestras a laboratorio siendo su ubicación

C-1: Asociaciones de vivienda Las Colinas y Manco Cápac

C-2: Asociación de Vivienda Alto Vilauta y asociaciones contiguas

Figura 14:

Excavación en calicata C-1



Figura 15:

Excavación en calicata C-2



4.2 CLASIFICACIÓN DEL SUELO DE LA SUBRASANTE:

Para la obtención de la clasificación del suelo de la subrasante, ha sido necesario realizar los ensayos de Análisis Granulométrico y el de Límites de Atterberg, los cuales, como se explicó en el marco metodológico contenida en la presente tesis, es necesario para realizar la respectiva clasificación de las muestras tomadas en la calicata C-1 y C-2.

- *Resultados de la muestra tomada en la calicata C-1:*

La clasificación del suelo analizado corresponde a grava pobremente graduada (GP) en razón a la clasificación del Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS), equivalente en el tipo de suelo A-1-a (0) de acuerdo al American

Association of State Highway and Transportation Officials (ASSHTO). Con LL:

18.05, LP: N.P. y IP: N.P.

Tabla 3:

Análisis granulométrico por tamizado C-1

TAMIZ	AASHTO T-27 (mm)	PESO RETENIDO	PORCENTAJE RETENIDO	RETENIDO ACUMULADO	PORCENTAJE QUE PASA	ESPECIFICACION	DESCRIPCION DE LA MUESTRA
10"	254.000						
6"	152.400						Peso inicial seco : 34826.0 gr.
5"	127.000						Peso fracción : 747.0 gr.
4"	101.600						
3"	76.200						Contenido de Humedad (%) : 6.1
2 1/2"	60.350				100.0		
2"	50.800	1581.0	4.5	4.5	95.5		Límite Líquido (LL): 18.0
1 1/2"	38.100	3882.0	11.1	15.7	84.3		Límite Plástico (LP): NP
1"	25.400	5294.0	15.2	30.9	69.1		Índice Plástico (IP): NP
3/4"	19.000	2072.0	5.9	36.8	63.2		Clasificación (SUCS) : GP
1/2"	12.500	2588.0	7.4	44.3	55.7		Clasificación (AASHTO) : A-1-a (0)
3/8"	9.500	1742.0	5.0	49.3	50.7		Índice de Consistencia : NP
1/4"	6.350						
Nº 4	4.750	3329.0	9.6	58.8	41.2		Descripción (AASHTO): BUENO
Nº 8	2.360	3374.3	9.7	68.5	31.5		Descripción (SUCS): Grava pobremente gradada con arena
Nº 10	2.000	476.0	1.4	69.9	30.1		
Nº 16	1.190	2662.2	7.6	77.5	22.5		Materia Orgánica : #REF!
Nº 20	0.840	1477.9	4.2	81.8	18.2		Turba : --
Nº 30	0.600	1462.6	4.2	86.0	14.0		CU : 40.263 CC : 0.627
Nº 40	0.425	1213.1	3.5	89.5	10.5		OBSERVACIONES :
Nº 50	0.300	896.4	2.6	92.0	8.0		Grava > 2" : 4.5
Nº 80	0.177	942.4	2.7	94.7	5.3		Grava 2" - Nº 4 : 54.3
Nº 100	0.150	186.2	0.5	95.3	4.7		Arena Nº4 - Nº 200 : 37.5
Nº 200	0.075	358.9	1.0	96.3	3.7		Finos < Nº 200 : 3.7
< Nº 200	FONDO	1287.9	3.7	100.0			%>3" 0.0%

Figura 16 :

Curva granulométrica C-1

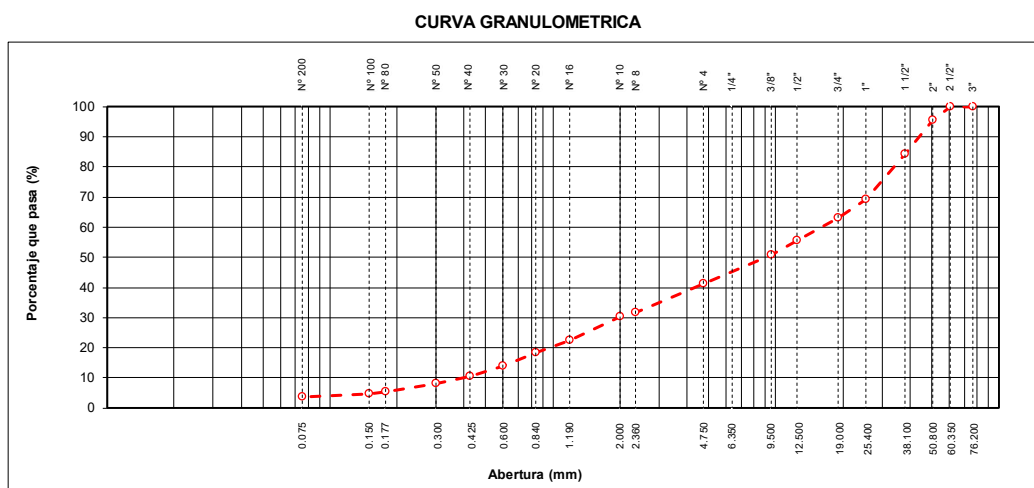


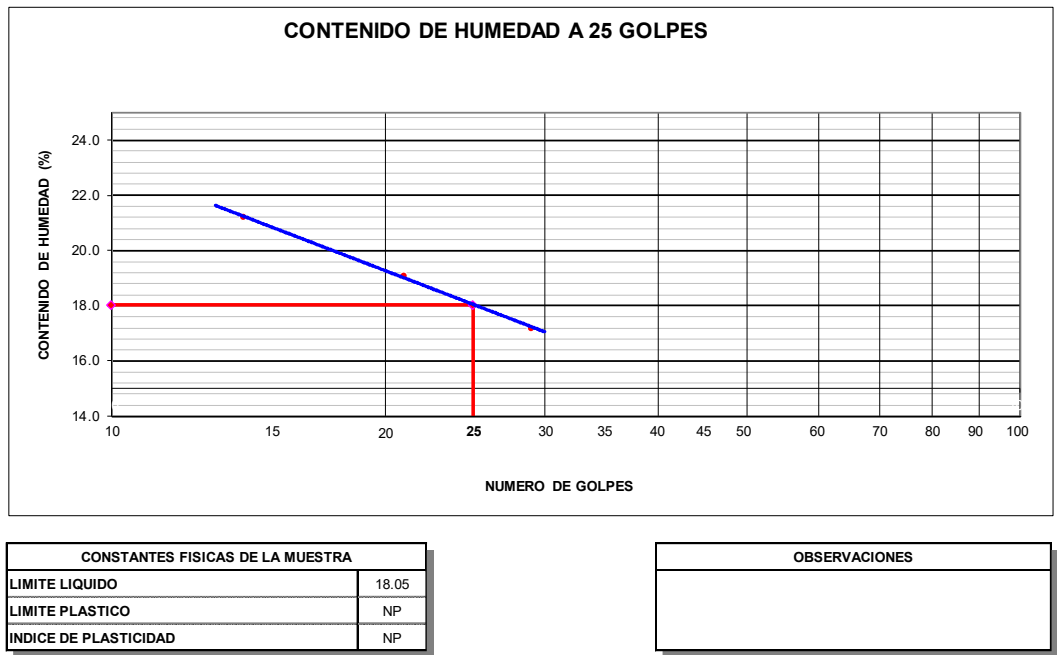
Tabla 4 :

Límite de consistencia: Límite líquido y límite plástico C-1

LÍMITE LIQUIDO (MTC E 110)				
Nº TARRO		12	10	11
PESO TARRO + SUELO HUMEDO	(g)	34.98	33.23	32.93
PESO TARRO + SUELO SECO	(g)	32.82	31.50	31.36
PESO DE AGUA	(g)	2.16	1.73	1.57
PESO DEL TARRO	(g)	22.63	22.43	22.23
PESO DEL SUELO SECO	(g)	10.19	9.07	9.13
CONTENIDO DE HUMEDAD	(%)	21.20	19.07	17.20
NUMERO DE GOLPES		14	21	29

Figura 17 :

Contenido de humedad a 25 golpes C-1



▪ *Resultados de la muestra tomada en la calicata C-2:*

La clasificación del suelo analizado corresponde a arena pobremente graduada con arcilla y grava (SP-SC) en razón a la clasificación del Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS), equivalente en el tipo de suelo A-1-a (0) de acuerdo al American Association of State Highway and Transportation Officials (ASSHTO). Con LL: 21.07, LP: 16.79 y IP: 4.28.

Tabla 5 :

Análisis granulométrico por tamizado C-2

TAMIZ	AASHTO T-27 (mm)	PESO RETENIDO	PORCENTAJE RETENIDO	RETENIDO ACUMULADO	PORCENTAJE QUE PASA	ESPECIFICACION	DESCRIPCION DE LA MUESTRA
10"	254.000						
6"	152.400						Peso inicial seco : 14390.0 gr.
5"	127.000						Peso fracción : 803.0 gr.
4"	101.600						
3"	76.200						Contenido de Humedad (%) : 12.3
2 1/2"	60.350				100.0		
2"	50.800	512.0	3.6	3.6	96.4		Límite Líquido (LL): 21.1
1 1/2"	38.100	248.0	1.7	5.3	94.7		Límite Plástico (LP): 16.8
1"	25.400	341.0	2.4	7.7	92.3		Índice Plástico (IP): 4.3
3/4"	19.000	652.0	4.5	12.2	87.8		Clasificación (SUCS) : SP - SC
1/2"	12.500	1115.0	7.7	19.9	80.1		Clasificación (AASHTO) : A-1-a (0)
3/8"	9.500	929.0	6.5	26.4	73.6		Índice de Consistencia : 2.05
1/4"	6.350						
Nº 4	4.750	1963.0	13.6	40.0	60.0		Descripción (AASHTO): BUENO
Nº 8	2.360	1260.6	8.8	48.8	51.2		Descripción (SUCS): Arena pobremente gradada con arcilla y grava
Nº 10	2.000	317.0	2.2	51.0	49.0		
Nº 16	1.190	965.1	6.7	57.7	42.3		Materia Orgánica : #REF!
Nº 20	0.840	647.0	4.5	62.2	37.8		Turba : --
Nº 30	0.600	638.4	4.4	66.6	33.4		CU : 0.000 CC : 0.000
Nº 40	0.425	837.2	5.8	72.4	27.6		OBSERVACIONES :
Nº 50	0.300	527.7	3.7	76.1	23.9		Grava > 2" : 3.6
Nº 80	0.177	1098.4	7.6	83.7	16.3		Grava 2" - Nº 4 : 36.5
Nº 100	0.150	235.4	1.6	85.4	14.6		Arena Nº4 - Nº 200 : 48.3
Nº 200	0.075	425.6	3.0	88.3	11.7		Finos < Nº 200 : 11.7
< Nº 200	FONDO	1677.6	11.7	100.0			%>3" : 0.0%

Figura 18 :

Curva granulométrica C-2

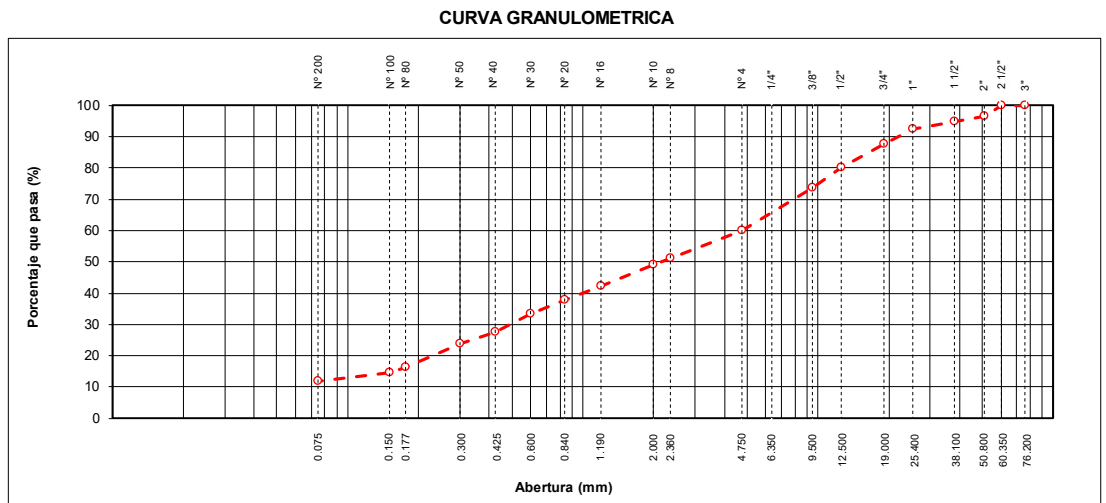


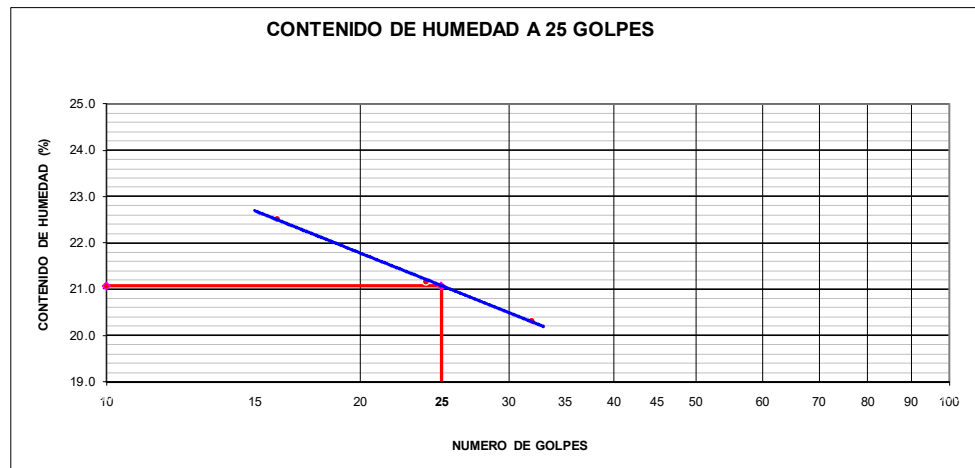
Tabla 6:*Límite de consistencia: Límite líquido y límite plástico C-2*

LIMITE LIQUIDO (MTC E 110)				
Nº TARRO		6	7	8
PESO TARRO + SUELO HUMEDO	(g)	54.93	48.63	48.81
PESO TARRO + SUELO SECO	(g)	49.01	44.18	44.39
PESO DE AGUA	(g)	5.92	4.45	4.42
PESO DEL TARRO	(g)	22.71	23.14	22.64
PESO DEL SUELO SECO	(g)	26.30	21.04	21.75
CONTENIDO DE HUMEDAD	(%)	22.51	21.15	20.32
NUMERO DE GOLPES		16	24	32

LIMITE PLASTICO (MTC E 111)				
Nº TARRO		7	8	
PESO TARRO + SUELO HUMEDO	(g)	12.43	11.81	
PESO TARRO + SUELO SECO	(g)	11.60	11.04	
PESO DE AGUA	(g)	0.83	0.77	
PESO DEL TARRO	(g)	6.64	6.47	
PESO DEL SUELO SECO	(g)	4.96	4.57	
CONTENIDO DE DE HUMEDAD	(%)	16.73	16.85	

Figura 19:

Contenido de humedad a 25 golpes C-2



CONSTANTES FISICAS DE LA MUESTRA	
LIMITE LIQUIDO	21.07
LIMITE PLASTICO	16.79
INDICE DE PLASTICIDAD	4.28

Figura 20:

Ensayos realizados para granulometría y de límites de Attenberg



4.3 DETERMINACIÓN DEL OPTIMO CONTENIDO DE

HUMEDAD:

Para efectos de determinar el contenido de humedad óptimo para la mezcla de suelo cemento que se está proponiendo diseñar en los caminos vecinales de Pocollay, que se ubican en la Asociación de Vivienda las Colinas , Asociación de Vivienda Manco Capac, Asociación de Vivienda Alto Vilauta y contiguas

El óptimo contenido de humedad que se obtiene en el ensayo de Compactación de Suelos en laboratorio utilizando una Energía Modificada (Proctor Modificado), servirá de dato para el posterior diseño de la mezcla de suelo cemento que se propone.

- *Resultados de la muestra tomada en la calicata C-1:*

Correspondiente al ensayo en mención, se ha obtenido los siguientes resultados: densidad máxima (2.059 gr/cm³) con un 7.1 % de humedad optima.

Tabla 7:*Contenido de humedad C-1*

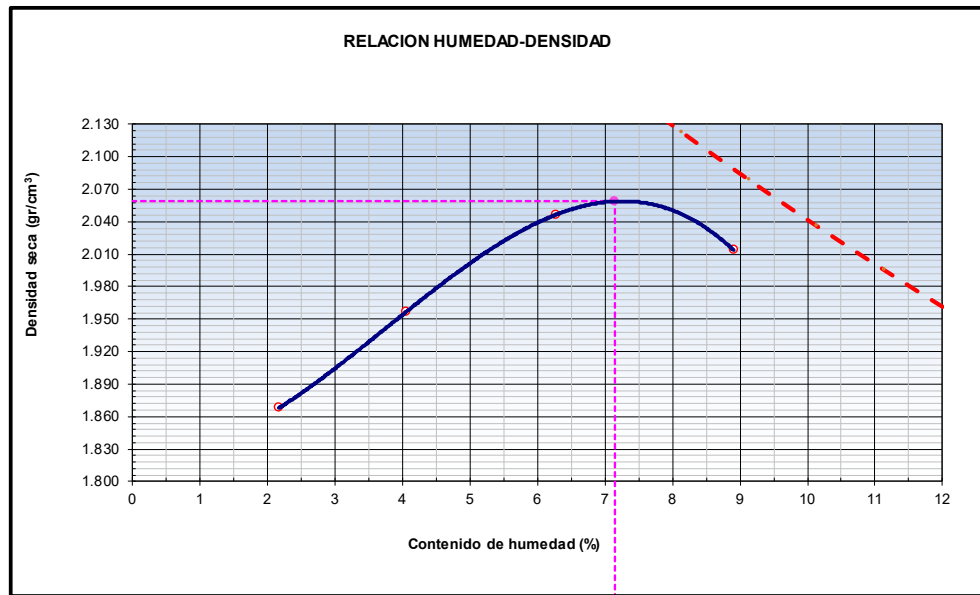
Nº DE ENSAYOS	1	2	3
Nº Tara			
Peso Tara + Suelo Humedo (gr.)	2394.8	2390.6	
Peso Tara + Suelo Seco (gr.)	2254.4	2254.6	
Peso Tara (gr.)			
Peso Agua (gr.)	140.4	136.0	
Peso Suelo Seco (gr.)	2254.4	2254.6	
Contenido de Humedad (gr.)	6.23	6.03	
Promedio (%)	6.1		

Tabla 8:*Ensayo Proctor modificado C-1*

		Método "C"				
Número de Ensayo		1	2	3	4	5
Peso suelo + molde	gr	10310	10582	10876	10915	
Peso molde	gr	6259	6259	6259	6259	
Peso suelo húmedo compactado	gr	4051	4323	4617	4656	
Volumen del molde	cm ³	2123	2123	2123	2123	
Peso volumétrico húmedo	gr	1.908	2.036	2.175	2.193	
Recipiente Nº		2	3	5	8	
Peso del suelo húmedo+tara	gr	682.0	552.0	722.0	870.0	
Peso del suelo seco + tara	gr	669.0	533.1	683.5	804.4	
Tara	gr	69.0	67.3	69.6	67.7	
Peso de agua	gr	13.0	18.9	38.5	65.6	
Peso del suelo seco	gr	600.1	465.8	614.0	736.7	
Contenido de agua	%	2.17	4.06	6.27	8.90	
Peso volumétrico seco	gr/cm ³	1.868	1.957	2.046	2.014	
	<i>Gravedad Específica (gr/cm³)</i>	2.565		<i>Densidad máxima (gr/c</i>		2.059
				<i>Humedad óptima (%)</i>		7.1

Figura 21:

Gráfico de la Relación humedad-densidad en C-1



▪ *Resultados de la muestra tomada en la calicata C-2:*

Correspondiente al ensayo en mención, se ha obtenido los siguientes resultados: densidad máxima (2.072 gr/cm³) con un 8.5 % de humedad optima.

Tabla 9:*Contenido de humedad C-2*

Nº DE ENSAYOS	1	2	3
Nº Tara			
Peso Tara + Suelo Humedo (gr.)	2433.1	2453.7	
Peso Tara + Suelo Seco (gr.)	2165.3	2187.3	
Peso Tara (gr.)			
Peso Agua (gr.)	267.8	266.4	
Peso Suelo Seco (gr.)	2165.3	2187.3	
Contenido de Humedad (gr.)	12.37	12.18	
Promedio (%)	12.3		

Tabla 10:*Ensayo Proctor modificado C-2*

Método "C"						
Número de Ensayo		1	2	3	4	5
Peso suelo + molde	gr	10311	10621	10973	10987	
Peso molde	gr	6259	6259	6259	6259	
Peso suelo húmedo compactado	gr	4052	4362	4714	4728	
Volumen del molde	cm ³	2123	2123	2123	2123	
Peso volumétrico húmedo	gr	1.909	2.055	2.220	2.227	
Recipiente Nº						
Peso del suelo húmedo+tara	gr	677.0	901.0	681.0	844.0	
Peso del suelo seco + tara	gr	653.0	853.0	632.0	769.0	
Tara	gr					
Peso de agua	gr	24.0	48.0	49.0	75.0	
Peso del suelo seco	gr	653.0	853.0	632.0	769.0	
Contenido de agua	%	3.68	5.63	7.75	9.75	
Peso volumétrico seco	gr/cm ³	1.841	1.945	2.061	2.029	
	Gravedad Específica (gr/cm ³)	2.582		Densidad máxima (gr/cm ³)		2.072
				Humedad óptima (%)		8.5

Figura 22:

Relación humedad-densidad C-2

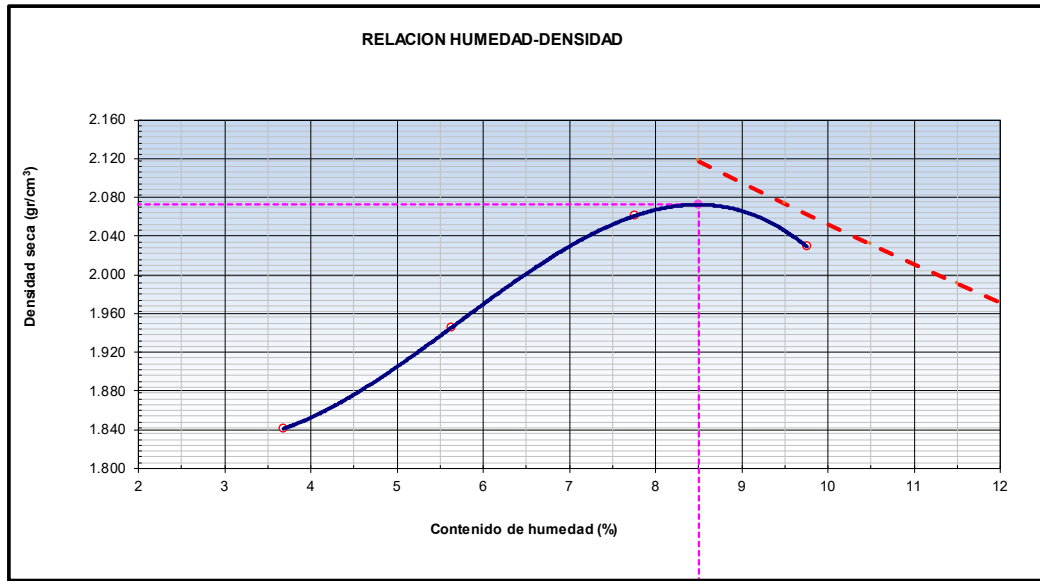


Tabla 11:

Peso específico del agregado grueso y fino C-1

PESO ESPECÍFICO DEL AGREGADO GRUESO MTC E 206-2000					
Nº DE ENSAYOS			1	2	
Peso de muestra seca al horno	A	gr.	5927.0	4856.0	
Peso de muestra saturada superf. Seca	B	gr.	6028.0	4940.0	
Peso de muestra saturada superf. seca Sumergida	C	gr.	3677.0	3020.0	PROMEDIO
Peso específico sobre base seca $A/(B-C)$			2.521	2.529	2.525
Peso específico sobre base saturada superficialmente seca $B/(B-C)$			2.564	2.573	2.568
Peso específico aparente $A/(A-C)$			2.634	2.645	2.640
Absorción de agua $((B-A)*100)/A$			1.70	1.73	1.72

PESO ESPECIFICO DEL AGREGADO FINO MTC E 205-2000					
Nº DE ENSAYOS			1	2	
P. Picnómetro mas agua aforado	A	gr.	366.69	367.20	
P. de la muestra seca al horno	B	gr.	145.85	145.82	
P. de la muestra saturada superficialmente seca	C	gr.	150.00	150.00	
P. Picnómetro mas agua mas muestra aforado	D	gr.	458.11	458.62	PROMEDIO
Peso específico sobre base seca $B/(C-(D-A))$			2.490	2.489	2.490
Peso específico sobre base saturada superficialmente seca $C/(C-(D-A))$			2.561	2.561	2.561
Peso específico aparente $B/(B-(D-A))$			2.680	2.681	2.680
Absorción de agua $((C-B)*100)/B$			2.85	2.87	2.86

Tabla 12:

Peso específico del agregado grueso y fino C-2

PESO ESPECIFICO DEL AGREGADO GRUESO MTC E 206-2000					
Nº DE ENSAYOS			1	2	
Peso de muestra seca al horno	A	gr.	5126.0	5243.0	
Peso de muestra saturada superf. Seca	B	gr.	5234.0	5354.0	
Peso de muestra saturada superf. seca Sumergida	C	gr.	3126.0	3208.0	PROMEDIO
Peso específico sobre base seca $A/(B-C)$			2.432	2.443	2.437
Peso específico sobre base saturada superficialmente seca $B/(B-C)$			2.483	2.495	2.489
Peso específico aparente $A/(A-C)$			2.563	2.576	2.570
Absorción de agua $((B-A)*100)/A$			2.11	2.12	2.11

PESO ESPECIFICO DEL AGREGADO FINO MTC E 205-2000					
Nº DE ENSAYOS			1	2	
P. Picnómetro mas agua aforado	A	gr.	366.69	367.20	
P. de la muestra seca al horno	B	gr.	146.54	146.53	
P. de la muestra saturada superficialmente seca	C	gr.	150.00	150.00	
P. Picnómetro mas agua mas muestra aforado	D	gr.	459.96	460.45	PROMEDIO
Peso específico sobre base seca $B/(C-(D-A))$			2.583	2.582	2.583
Peso específico sobre base saturada superficialmente seca $C/(C-(D-A))$			2.644	2.643	2.644
Peso específico aparente $B/(B-(D-A))$			2.751	2.750	2.751
Absorción de agua $((C-B)*100)/B$			2.36	2.37	2.36

Figura 23:

Ensayo de Proctor realizado



Figura 24:

Área en que fue realizado los ensayos



4.4 ENSAYO DE ESTABILIZACIÓN SUELO-CEMENTO Y ROTURA DE BRIQUETAS ESTABILIZADAS:

El ensayo realizado, tiene por fin, realizar la estabilización de suelo-cemento para los diferentes porcentajes de contenido de cemento en el suelo.

Figura 25:

Distintos tipos de muestra por % de cemento



▪ *Resultados de la muestra tomada en la calicata C-1:*

En el cuadro de control correspondiente a las resistencias a la compresión de las briquetas de suelo cemento, para tres muestras con un porcentaje de cemento (1.5%, 2.5%, 3.5% y 4.5%). Las cuales deberán de cumplir con la resistencia mínima necesaria 18.35 kg/cm^2 a los 7 días calendario, con un contenido de 2.43%.

Tabla 13:

Moldeo de cuerpos de probetas suelo-cemento C-1

Máxima Densidad Seca	gr/cm ³	2.059	DATOS DE EQUIPO		PARÁMETROS	
Ópt. Cont. Humedad	%	7.1	Pisón n°	2	Energía Compactada:	
% de suelo graduado	%	x	Cilindro n°	1	Proctor Modificado al 100%	
Humedad de Arena	%	2.07	Volumen de cilindro	1650	Número de golpes:	
Humedad de Grava	%	1.60	Peso de cilindro		44 (5 Capas)	

COMPOSICIÓN DE MUESTRA												
Peso total de la Mezcla		Suelo Grueso		Peso hum:	2823.8	(g)	Suelo Fino	Peso humedo:	1976.2	(g)	% Grava	58.8
4800 (g)				Peso seco:	2778.6	(g)		Peso seco:	1935.3	(g)	% Arena	41.2
Porcent. de cemento en peso	Peso del Cemento	Peso del Suelo Seco		Agua Necesaria	CANTIDADES DE AGUA							
		Grava	Arena		Humedad Real de Arena	Humedad Real de Grava	Aumentar o disminuir	Perdida por Evaporación	Agua a agregar			
%	(g)	(g)	(g)	(g)	(g)	(g)	(g)	(g)	(%)	(g)	(g)	
1.5	72.0	2824	1904	343	0.85	0.94	277	0.20	9	286		
2.5	120.0	2824	1856	343	0.85	0.94	277	0.20	9	286		
3.5	168.0	2824	1808	343	0.85	0.94	277	0.20	9	286		
4.5	216.0	2824	1760	343	0.85	0.94	277	0.20	9	286		

VERIFICACION DE MOLDEO												
Moldeo de Probeta	Porcent. de Cemento en peso	Peso del molde mas material	Peso de material humedo	DETERMINACION DE PORCENTAJE DE HUMEDAD							CUERPO DE PRUEBA	
				Cápsulas	Peso humedo	Peso Seco	Peso Cápsula	Água	Suelo Seco	Humedad	Densidad Humeda	Densidad aparente
N°	(%)	(g)	(g)	N°	(g)	(g)	(g)	(g)	(g)	(%)	(g)	(g/cm ³)
1	1.5	3637	3637		533.2	497.8		35.39	497.80	7.11	2.204	2.058
2	1.5	3636	3636		535.3	499.8		35.49	499.80	7.10	2.204	2.058
3	1.5	3639	3639		530.8	495.7		35.10	495.70	7.08	2.205	2.060
4	2.5	3636	3636		526.9	492.3		34.56	492.30	7.02	2.204	2.059
5	2.5	3630	3630		525.0	490.5		34.53	490.50	7.04	2.200	2.055
6	2.5	3628	3628		524.2	489.8		34.43	489.80	7.03	2.199	2.054
7	3.5	3624	3624		521.4	487.8		33.61	487.80	6.89	2.196	2.055
8	3.5	3622	3622		521.9	488.5		33.41	488.50	6.84	2.195	2.055
9	3.5	3620	3620		509.4	476.8		32.57	476.80	6.83	2.194	2.054
10	4.5	3616	3616		513.4	480.7		32.69	480.70	6.80	2.192	2.052
11	4.5	3620	3620		511.4	478.9		32.47	478.90	6.78	2.194	2.055
12	4.5	3622	3622		516.1	483.4		32.73	483.40	6.77	2.195	2.056

Tabla 14 :*Datos de las probetas que fueron expuestas a rotura al 7mo día en C-1*

CUERPO DE PROBETA N°	1	2	3	4	5	6
PORCETAJE DE CEMENTO EN PESO	1.5	1.5	1.5	2.5	2.5	2.5
FECHA DE MOLDEO	03/05/2022	03/05/2022	03/05/2022	03/05/2022	03/05/2022	03/05/2022
FECHA DE ROTURA	10/05/2022	10/05/2022	10/05/2022	10/05/2022	10/05/2022	10/05/2022
EDAD (DIAS)	7	7	7	7	7	7
LECTURA DIAL (kN)	--	--	--	--	--	--
CARGA (Kg)	5.67	8.83	7.40	15.45	14.06	15.84
COSTANTE K=	101.97	101.97	101.97	101.97	101.97	101.97
AREA CM 2	81.1	81.1	81.1	81.1	81.1	81.1
RESISTENCIA (Kg/cm ²)	7.13	11.10	9.30	19.43	17.68	19.92
RESISTENCIA MEDIA (Kg/cm ²)	9.18			19.01		

CUERPO DE PROBETA N°	7	8	9	10	11	12
PORCETAJE DE CEMENTO EN PESO	3.5	3.5	3.5	4.5	4.5	4.5
FECHA DE MOLDEO	03/05/2022	03/05/2022	03/05/2022	03/05/2022	03/05/2022	03/05/2022
FECHA DE ROTURA	10/05/2022	10/05/2022	10/05/2022	10/05/2022	10/05/2022	10/05/2022
EDAD (DIAS)	7	7	7	7	7	7
LECTURA DIAL	--	--	--	--	--	--
CARGA (Kg)	22.45	22.56	21.86	29.14	30.12	29.23
COSTANTE K=	101.97	101.97	101.97	101.97	101.97	101.97
AREA CM 2	81.1	81.1	81.1	81.1	81.1	81.1
RESISTENCIA (Kg/cm ²)	28.23	28.37	27.49	36.64	37.87	36.75
RESISTENCIA MEDIA (Kg/cm ²)	28.03			37.09		

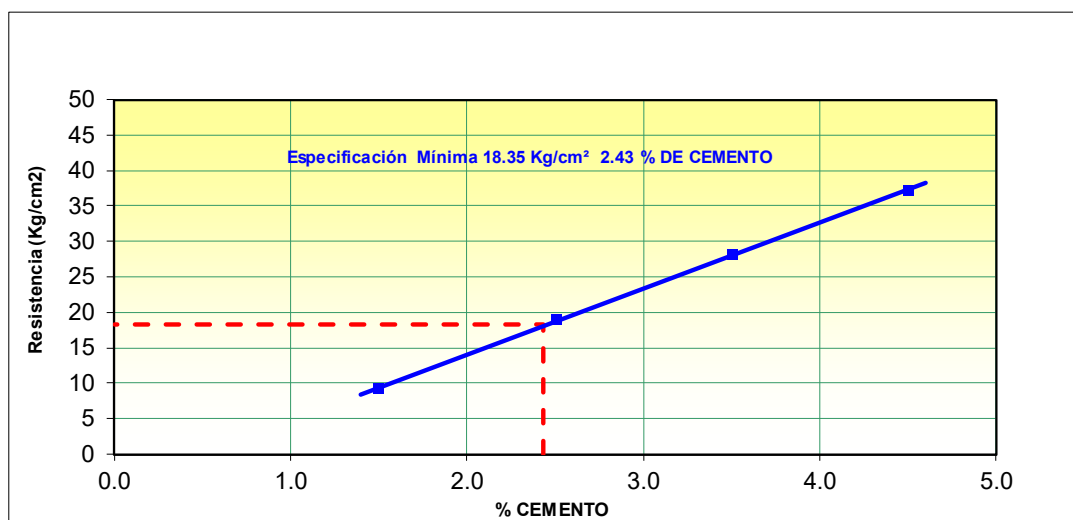
Tabla 15:*Resumen de las roturas al 7mo día en C-1*

% Cemento	Fecha Moldeo	Fecha Rotura	Edad de Rotura	Resistencia (Mpa)	Resistencia (Kg/cm ²)
1.5	03/05/22	10/05/22	7	0.92	9.18
2.5	03/05/22	10/05/22	7	1.90	19.01
3.5	03/05/22	10/05/22	7	2.80	28.03
4.5	03/05/22	10/05/22	7	3.71	37.09

De la anterior tabla se observa que el 2.5% de cemento es lo necesario para cumplir con la resistencia mínima.

Figura 26:

Gráfico del aumento de Resistencia por el % cemento en C-1



Para una Resistencia de 18.35 Kg/cm ² a 07 días	% de Cemento Tipo 1 P	2.43
	Margen de Seguridad 5%	0.12
	% de Cemento adoptado	2.55

Observaciones: Este moldeo se realizo con materiales Base Granular + Cemento.

Cemento 2.43%

De los datos obtenidos anteriormente se crea una línea de comportamiento con respecto a la resistencia y el % cemento. Donde se observa que el % de cemento más cercano a cumplir con la resistencia mínima de compresión es de 2.43. Pero se trabajará con un porcentaje de seguridad de 0.5% dando como 2.55% de cemento.

▪ *Resultados de la muestra tomada en la calicata C-2:*

En el cuadro de control correspondiente a las resistencias a la compresión de las briquetas de suelo cemento, para tres muestras con un porcentaje de cemento (0.5%, 1.5%, 2.5% y 3.5%). Las cuales deberán de cumplir con la resistencia mínima necesaria 18.35 kg/cm² a los 7 días calendario, con un contenido de 2.05%.

Tabla 16:

Moldeo de cuerpos de probetas suelo-cemento C-2

Máxima Densidad Seca	gr/cm ³	2.072	DATOS DE EQUIPO			PARÁMETROS			
Ópt. Cont. Humedad	%	8.5	Pisón n°			2	Energía Compactada:		
% de suelo graduado	%	x	Cilindro n°			1	Proctor Modificado al 100%		
Humedad de Arena	%	2.02	Volume de cilindro			1650	Número de golpes:		
Humedad de Grava	%	0.78	Peso de cilindro				44 (5 Capas)		

COMPOSICIÓN DE MUESTRA											
Peso total de la Mezcla	Suelo Grueso		Peso hum:	2784.0	(g)	Suelo Fino	Peso humedo:	2016.0	(g)	% Grava	58.0
4800	(g)		Peso seco:	2762.3	(g)		Peso seco:	1975.3	(g)	% Arena	42.0

Porcent. de cemento en peso	Peso del Cemento	Peso del Suelo Seco		Agua Necesaria	CANTIDADES DE AGUA					
		Grava	Arena		Humedad Real de		Aumentar o disminuir	Perdida por Evaporación		Agua a agregar
					Arena	Grava		(g)	(%)	
%	(g)	(g)	(g)	(g)	(g)	(g)	(g)	(%)	(g)	(g)
0.5	24.0	2784	1992	408	0.85	0.45	359	0.20	10.0	369
1.5	72.0	2784	1944	408	0.85	0.45	359	0.20	9.0	368
2.5	120.0	2784	1896	408	0.85	0.45	359	0.20	9.0	368
3.5	168.0	2784	1848	408	0.85	0.45	359	0.20	9.0	368

VERIFICACION DE MOLDEO												
Moldeo de Probeta	Porcent. de Cemento en peso	Peso del molde mas material	Peso de material humedo	DETERMINACION DE PORCENTAJE DE HUMEDAD							CUERPO DE PRUEBA	
				Cápsulas	Peso humedo	Peso Seco	Peso Cápsula	Água	Suelo Seco	Humedad	Densidad Humeda	Densidad aparente
N°	(%)	(g)	(g)	N°	(g)	(g)	(g)	(g)	(g)	(%)	(g)	(g/cm ³)
1	0.5	3710	3710		505.4	465.8		39.59	465.80	8.50	2.248	2.072
2	0.5	3709	3709		517.0	476.8		40.19	476.80	8.43	2.248	2.073
3	0.5	3706	3706		515.7	475.6		40.14	475.60	8.44	2.246	2.071
4	1.5	3705	3705		528.5	487.5		41.05	487.50	8.42	2.245	2.071
5	1.5	3703	3703		540.6	498.7		41.94	498.70	8.41	2.244	2.070
6	1.5	3708	3708		516.8	476.8		39.96	476.80	8.38	2.247	2.074
7	2.5	3709	3709		528.5	487.5		40.95	487.50	8.40	2.248	2.074
8	2.5	3706	3706		522.7	482.3		40.42	482.30	8.38	2.246	2.072
9	2.5	3704	3704		540.1	498.3		41.81	498.30	8.39	2.245	2.071
10	3.5	3707	3707		544.3	502.3		41.99	502.30	8.36	2.247	2.073
11	3.5	3702	3702		546.5	504.3		42.21	504.30	8.37	2.244	2.070
12	3.5	3701	3701		540.1	498.5		41.62	498.50	8.35	2.243	2.070

Tabla 17:*Datos de las probetas que fueron expuestas a rotura al 7mo día en C-2*

CUERPO DE PROBETA N°	1	2	3	4	5	6
PORCETAJE DE CEMENTO EN PESO	0.5	0.5	0.5	1.5	1.5	1.5
FECHA DE MOLDEO	03/05/2022	03/05/2022	03/05/2022	03/05/2022	03/05/2022	03/05/2022
FECHA DE ROTURA	10/05/2022	10/05/2022	10/05/2022	10/05/2022	10/05/2022	10/05/2022
EDAD (DIAS)	7	7	7	7	7	7
LECTURA DIAL (kN)	--	--	--	--	--	--
CARGA (Kg)	4.34	4.01	3.22	10.33	10.92	10.42
COSTANTE K=	101.97	101.97	101.97	101.97	101.97	101.97
AREA CM 2	81.1	81.1	81.1	81.1	81.1	81.1
RESISTENCIA (Kg/cm ²)	5.46	5.04	4.05	12.99	13.73	13.10
RESISTENCIA MEDIA (Kg/cm ²)	4.85			13.27		

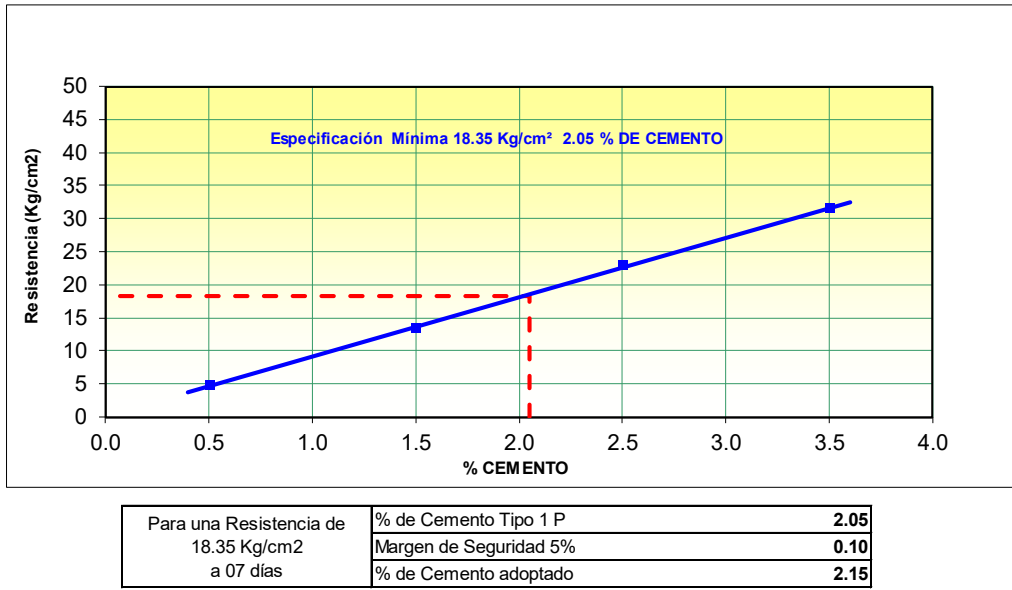
CUERPO DE PROBETA N°	7	8	9	10	11	12
PORCETAJE DE CEMENTO EN PESO	2.5	2.5	2.5	3.5	3.5	3.5
FECHA DE MOLDEO	03/05/2022	03/05/2022	03/05/2022	03/05/2022	03/05/2022	03/05/2022
FECHA DE ROTURA	10/05/2022	10/05/2022	10/05/2022	10/05/2022	10/05/2022	10/05/2022
EDAD (DIAS)	7	7	7	7	7	7
LECTURA DIAL	--	--	--	--	--	--
CARGA (Kg)	18.80	18.43	17.44	24.73	24.65	25.72
COSTANTE K=	101.97	101.97	101.97	101.97	101.97	101.97
AREA CM 2	81.1	81.1	81.1	81.1	81.1	81.1
RESISTENCIA (Kg/cm ²)	23.64	23.17	21.93	31.09	30.99	32.34
RESISTENCIA MEDIA (Kg/cm ²)	22.91			31.48		

Tabla 18 :*Resumen de las roturas al 7mo día en C-2*

% Cemento	Fecha Moldeo	Fecha Rotura	Edad de Rotura	Resistencia (Mpa)	Resistencia (Kg/cm ²)
0.5	03/05/22	10/05/22	7	0.48	4.85
1.5	03/05/22	10/05/22	7	1.33	13.27
2.5	03/05/22	10/05/22	7	2.29	22.91
3.5	03/05/22	10/05/22	7	3.15	31.48

Figura 27 :

Gráfico del aumento de Resistencia por el % cemento en C-2



Observaciones: Este moldeo se realizo con materiales Base Granular + Cemento.

Cemento 2.05%

Se obtuvo con un margen de seguridad para la C-2 un 2.15% cemento para cumplir con la resistencia mínima.

Figura 28:

Realización y rotura de probetas



4.5 CORRECCIÓN POR DESGASTE DE HUMEDAD Y SECADO:

Para efectos de dar corrección a la proporción de cemento, que se obtuvo en el ensayo de estabilización de suelo cemento (que se explica en el punto anterior), en el cual se busca determinar el % de cemento necesario para la estabilización suelo cemento en el camino vecinal en mención, haciendo la corrección respectiva de desgaste por humedad y secado de la mezcla de suelo cemento, cuyo procedimiento se detalla en el marco metodológico del presente trabajo.

En donde finalmente se obtuvo:

- *Resultados de la muestra tomada en la calicata C-1:*

En razón al cuadro de Humedecimiento y Secado de mezclas de Suelo-Cemento compactadas (MTC E 1104) se obtuvo 2.62% cemento para la dosificación de la estabilización.

A continuación, se muestran los distintos resultados de pérdida suelo-cemento a partir del dato obtenido en las roturas donde en C-1 se obtuvo como dosificación 2,55% con esto se trabajara para los ensayos de humedad-secado con 2.25%,2.55%,2.85% con respecto a 2.55% obteniendo lo siguiente:

Tabla 19:

Humedecimiento y secado de mezclas de suelo-cemento compactadas C-1 (2.25% cemento)

Máxima Densidad Seca		gr/cm ³	2,059		PESOS DE BRIQUETAS - MÉTODO "B"						PARÁMETROS				
Ópt. Cont. Humedad	%	7.1	Nº Briqueta	1	2	Nº Briqueta	1	2	1	2	Energía Compactada:				
Óptimo de Cemento	%	2.25	Peso Original Briq.	3730.0	3718.0	Volumen Original	1691	1686	Proctor Modificado al 100%						
Humedad de Arena	%	5.38	Peso Seco a 110 °C	3652.0	3645.0	% de Volumen	97.4	97.7	Número de golpes:						
Humedad de Grava	%	3.20	Peso Seco Corregido	3575.6	3573.4	% Humedad	2.1	2.0	44 (5 Capas)						
COMPOSICIÓN DE MUESTRA															
Peso total de la Mezcla			Suelo Grueso		Peso hum:	645.8	(g)	Suelo Fino	Peso humedo:	589.7	(g)	% Grava	58.8		
4900			(g)		Peso seco:	625.8	(g)	Peso seco:	559.6	(g)	% Arena	41.2			
CANTIDADES DE AGUA															
Especimen	Nº	Peso del Cemento	Peso del Suelo Seco		Agua Necesaria	Humedad Real		Aumentar o disminuir	Pérdida por Evaporación	Agua a agregar					
			Grava	Arena		de Arena	de Grava								
		(g)	(g)	(g)	(g)	(g)	(g)	(g)	(%)	(g)	(g)				
1	1	110.3	2883	1907	350	2.21	1.88	195	0.20	10	205				
2	2	110.3	2883	1907	350	2.21	1.88	195	0.20	10	205				
VERIFICACIÓN DE MOLDEO															
Briqueta	Diámetro	Altura	Volumen Original	Porcent. de Cemento en peso	Peso del molde mas material	Peso de material humedo	DETERMINACION DE PORCENTAJE DE HUMEDAD				CUERPO DE PRUEBA				
							Tara	Peso hume.	Peso Seco	Peso Cáps.	Água	Suelo Seco	Humedad	Densid. Hume.	Densid. Aparen.
	Ø	h	V	(%)	(g)	(g)	Nº	(g)	(g)	(g)	(g)	(g)	(%)	(g)	(g/cm ³)
1	10.2	20.5	1691	2.25	3730.0	3730.0		527.4	492.3	35.1	492.3	7.12	2.206	2.059	
2	10.22	20.6	1686	2.25	3718.0	3718.0		532.1	496.8	35.3	496.8	7.10	2.205	2.059	
CAMBIO DE VOLUMEN Y HUMEDAD DEL ESPECIMEN															
Ciclo	Hora	Briqueta	Peso del Especimen húmedo	Diámetro	Altura	Vol. del Esp.	Porcentaje de Volumen	Peso Especimen Seco	Diámetro	Altura	Vol. del Esp.	Porcentaje de Volumen	Promedio de Volumen	Porcentaje de Humedad	
			(g)	Ø	h	V	%	(g)	Ø	h	V	%		%	
1	09:45	Nº 1	3730.0	10.13	20.43	1647	97.4	3624.7	10.13	20.42	1646	97.3	97.4	2.91	
2	09:45	Nº 1	3728.9	10.14	20.44	1651	97.6	3623.4	10.14	20.44	1651	97.6	97.6	2.91	
3	09:45	Nº 1	3729.7	10.15	20.42	1652	97.7	3624.2	10.13	20.43	1647	97.4	97.5	2.91	
4	09:45	Nº 1	3725.6	10.13	20.45	1648	97.5	3629.8	10.14	20.42	1649	97.5	97.5	2.64	
5	09:45	Nº 1	3724.7	10.12	20.44	1644	97.2	3618.7	10.15	20.44	1654	97.8	97.5	2.93	
6	09:45	Nº 1	3723.5	10.11	20.43	1640	97.0	3617.9	10.12	20.41	1642	97.1	97.0	2.92	
7	09:45	Nº 1	3727.8	10.13	20.42	1646	97.3	3622.4	10.13	20.42	1646	97.3	97.3	2.91	
8	09:45	Nº 1	3729.8	10.14	20.44	1651	97.6	3624.8	10.15	20.44	1654	97.8	97.7	2.90	
9	09:45	Nº 1	3728.3	10.15	20.43	1653	97.8	3622.7	10.12	20.45	1645	97.3	97.5	2.91	
10	09:45	Nº 1	3727.4	10.12	20.42	1643	97.2	3623.4	10.13	20.42	1646	97.3	97.3	2.87	
11	09:45	Nº 1	3725.4	10.14	20.43	1650	97.6	3620.0	10.12	20.41	1642	97.1	97.3	2.91	
12	09:45	Nº 1	3736.8	10.15	20.44	1654	97.8	3630.7	10.14	20.44	1651	97.6	97.7	2.92	
PÉRDIDA DE SUELO CEMENTO DEL ESPECIMEN															
Ciclo	Hora	Briqueta	Diámetro	Altura	Volumen del Especimen	Peso despues de 5 Horas en Agua	Peso despues de 48 Horas en Horno a 71 °C	Peso despues del Cepillado	Pérdida Suelo-Cemento						
			Ø	h	V	(g)	(g)	(g)	%						
1	15:45	Nº 2	10.12	20.45	1645	3825.7	3716.4	3684.0	2.82						
2	15:45	Nº 2	10.11	20.44	1641	3824.6	3715.0	3656.0	3.52						
3	15:45	Nº 2	10.13	20.43	1647	3823.6	3714.0	3612.0	4.66						
4	15:45	Nº 2	10.14	20.44	1651	3824.6	3715.0	3543.0	6.50						
5	15:45	Nº 2	10.11	20.42	1639	3823.2	3713.6	3496.0	7.71						
6	15:45	Nº 2	10.12	20.44	1644	3824.7	3715.1	3434.0	9.38						
7	15:45	Nº 2	10.13	20.41	1645	3824.6	3715.0	3386.0	10.65						
8	15:45	Nº 2	10.15	20.42	1652	3823.5	3713.9	3365.0	11.17						
9	15:45	Nº 2	10.14	20.44	1651	3821.5	3711.9	3273.0	13.56						
10	15:45	Nº 2	10.15	20.43	1653	3822.5	3712.9	3234.0	14.61						
11	15:45	Nº 2	10.14	20.42	1649	3820.8	3711.2	3169.0	16.29						
12	15:45	Nº 2	10.13	20.46	1649	3819.8	3710.2	3106.0	17.93						

Perdida Suelo-Cemento 17.9 %

Tabla 20:

Humedecimiento y secado de mezclas de suelo-cemento compactadas C-1(2.55% cemento)

Máxima Densidad Seca gr/cm ³		2.059		PISOS DE BRIQUETAS - MÉTODO "B"						PARÁMETROS				
Ópt. Cont. Humedad	%	7.1	Nº Briqueta	1	2	Nº Briqueta	1	2	Energía Compactada:					
Óptimo de Cemento	%	2.55	Peso Original Briq.	3699.0	3728.0	Volumen Original	1678	1691	Proctor Modificado al 100%					
Humedad de Arena	%	4.85	Peso Seco a 110 °C	3612.0	3643.0	% de Volumen	98.2	97.5	Número de golpes:					
Humedad de Grava	%	2.12	Peso Seco Corregido	3527.0	3559.9	% Humedad	2.4	2.3	44 (5 Capas)					
COMPOSICIÓN DE MUESTRA														
Peso total de la Mezcla		4900 (g)		Suelo Grueso		Suelo Fino		Peso húmedo: 687.3 (g)		% Grava 58.8				
				Peso seco: 632.0 (g)				Peso seco: 655.5 (g)		% Arena 41.2				
Especimen	Peso del Cemento	Peso del Suelo Seco		Agua Necesaria	CANTIDADES DE AGUA				Perdida por Evaporación	Agua a agregar				
		Grava	Arena		Humedad Real de Arena	Humedad Real de Grava	Aumentar o disminuir	(%)						
Nº	(g)	(g)	(g)	(g)	(g)	(g)	(g)	(g)	(%)	(g)				
1	125.0	2883	1892	350	2.00	1.25	225	0.20	10	235				
2	125.0	2883	1892	350	2.00	1.25	225	0.20	10	235				
VERIFICACIÓN DE MOLDEO														
Brazos	Diámetro	Altura	Volumen Original	Percent. de Cemento en peso	Peso del molde mas material	Peso de material húmedo	DETERMINACION DE PORCENTAJE DE HUMEDAD				CUERPO DE PRUEBA			
							Tara	Peso hume.	Peso Seco	Peso Cáps.	Água	Suelo Seco	Humedad	Densid. Hume.
Nº	Ø	h	V	(%)	(g)	(g)	Nº	(g)	(g)	(g)	(g)	(%)	(g)	(g/cm ³)
1	10.22	20.5	1678	2.55	3699.0	3699.0		510.6	476.8	33.8	476.8	7.08	2.204	2.059
2	10.25	20.49	1691	2.55	3728.0	3728.0		521.1	486.7	34.4	486.7	7.06	2.205	2.059
CAMBIO DE VOLUMEN Y HUMEDAD DEL ESPECIMEN														
Ciclo	Hora	Briqueta	Peso del Especimen húmedo	Diámetro	Altura	Vol. del Esp.	Porcentaje de Volumen	Peso Especimen Seco	Diámetro	Altura	Vol. del Esp.	Porcentaje de Volumen	Promedio de Volumen	Porcentaje de Humedad
Briqueta			(g)	Ø	h	V	%	(g)	Ø	h	V	%	%	%
1	08:54	Nº 1	3699.0	10.12	20.44	1644	98.0	3593.1	10.13	20.46	1649	98.3	98.1	2.95
2	08:54	Nº 1	3698.8	10.13	20.43	1647	98.2	3592.5	10.14	20.44	1651	98.4	98.3	2.96
3	08:54	Nº 1	3697.8	10.14	20.42	1649	98.3	3591.8	10.12	20.45	1645	98.0	98.2	2.95
4	08:54	Nº 1	3696.8	10.13	20.41	1645	98.0	3590.5	10.13	20.46	1649	98.3	98.2	2.96
5	08:54	Nº 1	3697.4	10.12	20.42	1643	97.9	3591.2	10.14	20.47	1653	98.5	98.2	2.96
6	08:54	Nº 1	3696.8	10.13	20.44	1647	98.2	3590.6	10.12	20.48	1647	98.2	98.2	2.96
7	08:54	Nº 1	3697.8	10.14	20.43	1650	98.3	3591.4	10.13	20.47	1650	98.3	98.3	2.96
8	08:54	Nº 1	3696.8	10.12	20.44	1644	98.0	3590.5	10.11	20.46	1642	97.9	97.9	2.96
9	08:54	Nº 1	3693.4	10.13	20.42	1646	98.1	3587.8	10.12	20.48	1647	98.2	98.1	2.94
10	08:54	Nº 1	3695.6	10.14	20.43	1650	98.3	3589.8	10.13	20.46	1649	98.3	98.3	2.95
11	08:54	Nº 1	3698.5	10.12	20.44	1644	98.0	3593.2	10.14	20.45	1651	98.4	98.2	2.93
12	08:54	Nº 1	3697.2	10.13	20.42	1646	98.1	3592.4	10.15	20.47	1656	98.7	98.4	2.92
PÉRDIDA DE SUELO CEMENTO DEL ESPECIMEN														
Ciclo	Hora	Briqueta	Diámetro	Altura	Volumen del Especimen	Peso despues de 5 Horas en Agua	Peso despues de 48 Horas en Horno a 71 °C	Peso despues del Cepillado	Perdida Suelo-Cemento					
Briqueta			Ø	h	V	(g)	(g)	(g)	%					
1	14:54	Nº 2	10.13	20.45	1648	3835.8	3726.5	3712.0	2.66					
2	14:54	Nº 2	10.12	20.46	1646	3832.4	3723.4	3687.0	3.24					
3	14:54	Nº 2	10.11	20.43	1640	3833.6	3724.8	3587.0	5.90					
4	14:54	Nº 2	10.13	20.44	1647	3829.8	3721.2	3553.0	6.70					
5	14:54	Nº 2	10.14	20.45	1651	3828.8	3720.3	3511.0	7.78					
6	14:54	Nº 2	10.15	20.46	1655	3829.9	3719.8	3476.0	8.68					
7	14:54	Nº 2	10.14	20.47	1653	3832.3	3721.4	3465.0	9.01					
8	14:54	Nº 2	10.12	20.45	1645	3830.4	3721.4	3422.0	10.14					
9	14:54	Nº 2	10.11	20.44	1641	3832.5	3722.4	3367.0	11.61					
10	14:54	Nº 2	10.13	20.43	1647	3831.2	3720.4	3323.0	12.72					
11	14:54	Nº 2	10.15	20.46	1655	3829.8	3722.4	3287.0	13.71					
12	14:54	Nº 2	10.14	20.47	1653	3828.9	3720.4	3245.0	14.77					

Perdida Suelo-Cemento 14.8 %

Tabla 21:

Humedecimiento y secado de mezclas de suelo-cemento compactadas C-1(2.85% cemento)

Máxima Densidad Seca		gr/cm ³	PESOS DE BRIQUETAS - MÉTODO "B"						PARÁMETROS					
Ópt. Cont. Humedad	%	7.1	Nº Briqueta	1	2	Nº Briqueta	1	2	Energía Compactada:					
Óptimo de Cemento	%	2.85	Peso Original Briq.	3714.0	3728.0	Volumen Original	1686	1693	Proctor Modificado al 100%					
Humedad de Arena	%	4.11	Peso Seco a 110 °C	3628.0	3645.0	% de Volumen	97.8	97.5	Número de golpes:					
Humedad de Grava	%	2.19	Peso Seco Corregido	3544.0	3563.8	% Humedad	2.4	2.3	44 (5 Capas)					
COMPOSICIÓN DE MUESTRA														
Peso total de la Mezcla			Suelo Grueso		Peso hum:	654.3 (g)	Suelo Fino	Peso humedo:	632.6 (g)	% Grava	58.8			
4900 (g)					Peso seco:	640.3 (g)		Peso seco:	607.6 (g)	% Arena	41.2			
CANTIDADES DE AGUA														
Especimen	Peso del Cemento	Peso del Suelo Seco		Agua Necesaria	Humedad Real de Arena	Humedad Real de Grava	Aumentar o disminuir	Perdida por Evaporación		Agua a agregar				
		Grava	Arena		(g)	(g)	(g)	(%)	(g)	(g)				
Nº	(g)	(g)	(g)	(g)	(g)	(g)	(g)	(%)	(g)	(g)				
1	139.7	2883	1878	350	1.69	1.29	236	0.20	10	246				
2	139.7	2883	1878	350	1.69	1.29	236	0.20	10	246				
VERIFICACIÓN DE MOLDEO														
Briqueta	Díametro	Altura	Volumen Original	Porcent. de Cemento en peso	Peso del molde mas material	Peso de material humedo	DETERMINACIÓN DE PORCENTAJE DE HUMEDAD					CUERPO DE PRUEBA		
							Tara	Peso hume.	Peso Seco	Peso Cáps.	Água	Suelo Seco	Humedad	Densid. Hume.
Nº	Ø	h	V	(%)	(g)	(g)	Nº	(g)	(g)	(g)	(g)	(%)	(g)	(g/cm ³)
1	10.2	20.51	1686	2.85	3714.0	3714.0		498.2	465.7		32.5	465.7	6.98	2.203
2	10.3	20.5	1693	2.85	3728.0	3728.0		509.7	476.3		33.4	476.3	7.01	2.202
CAMBIO DE VOLUMEN Y HUMEDAD DEL ESPECIMEN														
Ciclo	Hora	Briqueta	Peso del Especimen húmedo	Díametro	Altura	Vol. del Esp.	Porcentaje de Volumen	Peso Especimen Seco	Díametro	Altura	Vol. del Esp.	Porcentaje de Volumen	Promedio de Volumen	Porcentaje de Humedad
			(g)	Ø	h	V	%	(g)	Ø	h	V	%	%	%
1	10:30	Nº 1	3714.0	10.13	20.46	1649	97.8	3608.2	10.14	20.44	1651	97.9	97.9	2.93
2	10:30	Nº 1	3712.0	10.12	20.47	1647	97.7	3606.5	10.12	20.45	1645	97.6	97.6	2.93
3	10:30	Nº 1	3712.3	10.14	20.45	1651	97.9	3606.8	10.13	20.46	1649	97.8	97.9	2.93
4	10:30	Nº 1	3710.4	10.13	20.46	1649	97.8	3604.5	10.14	20.47	1653	98.0	97.9	2.94
5	10:30	Nº 1	3711.7	10.15	20.47	1656	98.2	3605.6	10.12	20.48	1647	97.7	98.0	2.94
6	10:30	Nº 1	3712.6	10.12	20.48	1647	97.7	3606.8	10.13	20.45	1648	97.7	97.7	2.93
7	10:30	Nº 1	3710.8	10.11	20.45	1642	97.4	3604.5	10.14	20.46	1652	98.0	97.7	2.95
8	10:30	Nº 1	3709.8	10.14	20.46	1652	98.0	3603.4	10.13	20.45	1648	97.7	97.9	2.95
9	10:30	Nº 1	3708.3	10.12	20.45	1645	97.6	3602.3	10.14	20.47	1653	98.0	97.8	2.94
10	10:30	Nº 1	3705.6	10.13	20.44	1647	97.7	3598.7	10.13	20.45	1648	97.7	97.7	2.97
11	10:30	Nº 1	3703.4	10.14	20.46	1652	98.0	3597.8	10.12	20.44	1644	97.5	97.7	2.94
12	10:30	Nº 1	3702.3	10.12	20.48	1647	97.7	3597.3	10.14	20.48	1654	98.1	97.9	2.92
PÉRDIDA DE SUELO CEMENTO DEL ESPECIMEN														
Ciclo	Hora	Briqueta	Díametro	Altura	Volumen del Especimen	Peso despues de 5 Horas en Agua	Peso despues de 48 Horas en Horno a 71 °C	Peso despues del Cepillado	Pérdida Suelo-Cemento					
			Ø	h	V	(g)	(g)	(g)	%					
1	16:30	Nº 2	10.13	20.44	1647	3835.9	3726.8	3721.0	2.38					
2	16:30	Nº 2	10.14	20.46	1652	3832.4	3722.4	3690.0	3.08					
3	16:30	Nº 2	10.14	20.44	1651	3830.4	3720.3	3682.0	3.23					
4	16:30	Nº 2	10.12	20.46	1646	3828.8	3720.3	3623.0	4.78					
5	16:30	Nº 2	10.15	20.45	1655	3829.8	3721.3	3578.0	5.99					
6	16:30	Nº 2	10.13	20.46	1649	3827.8	3719.4	3546.0	6.78					
7	16:30	Nº 2	10.15	20.44	1654	3826.6	3716.5	3512.0	7.61					
8	16:30	Nº 2	10.16	20.46	1659	3832.4	3722.4	3502.0	8.02					
9	16:30	Nº 2	10.13	20.44	1647	3834.2	3723.6	3457.0	9.23					
10	16:30	Nº 2	10.14	20.43	1650	3832.1	3721.8	3424.0	10.05					
11	16:30	Nº 2	10.13	20.44	1647	3828.9	3720.5	3403.0	10.57					
12	16:30	Nº 2	10.12	20.45	1645	3835.3	3726.7	3376.0	11.43					

Perdida Suelo-Cemento 11.4 %

Tabla 22:

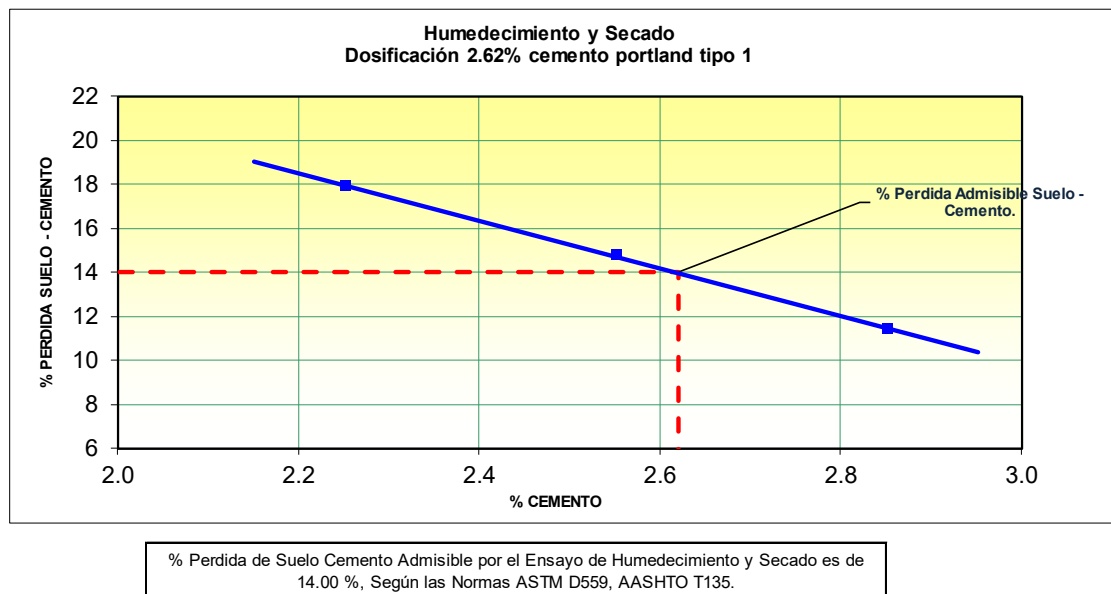
Resumen de % de desgaste para las dosificaciones por ensayo humedad-secado

C-1

% Cemento	% Desgaste (Humed. Y Secado)
2.25	17.93
2.55	14.77
2.85	11.43

Figura 29:

Grafica de perdida suelo-cemento con respecto al % de cemento en C-1



A partir de los ensayos de humedecimiento-secado se obtuvo 3 puntos donde se creó una línea de comportamiento (nótese en la figura previa), donde se

observa un 2.62% de cemento es óptimo para un mínimo de 14% de pérdida por cemento-suelo.

- *Resultados de la muestra tomada en la calicata C-2:*

En el cuadro de control correspondiente a las resistencias a la compresión de las briquetas de suelo-cemento, para tres muestras con un porcentaje 2.23.

A continuación, se muestran los distintos resultados de pérdida suelo-cemento a partir del dato obtenido en las roturas donde en C-2 se obtuvo como dosificación 2,15% con esto se trabajara para los ensayos de humedad-secado con 1.85%,2.15%,2.45%

Tabla 23:

Humedecimiento y secado de mezclas de suelo-cemento compactadas C-2(1.85% cemento)

Máxima Densidad Seca gr/cm ³		2.072		PESOS DE BRIQUETAS - MÉTODO "B"						PARÁMETROS				
Ópt. Cont. Humedad %	8.5	Nº Briqueta	1	2	Nº Briqueta	1	2	Energía Compactada:						
Óptimo de Cemento %	1.85	Peso Original Briq.	3783.0	3790.0	Volumen Original	1683	1686	Proctor Modificado al 100%						
Humedad de Arena %	4.45	Peso Seco a 110 °C	3701.0	3704.0	% de Volumen	97.8	97.6	Número de golpes:						
Humedad de Grava %	1.62	Peso Seco Corregido	3620.8	3620.0	% Humedad	2.2	2.3	44 (5 Capas)						
COMPOSICIÓN DE MUESTRA														
Peso total de la Mezcla		4900 (g)		Suelo Grueso	Peso hum: 622.6 (g)	Suelo Fino	Peso humedo: 587.4 (g)	% Grava	58.0					
					Peso seco: 612.7 (g)		Peso seco: 562.4 (g)	% Arena	42.0					
Especimen	Peso del Cemento	Peso del Suelo Seco		Agua Necesaria	CANTIDADES DE AGUA									
		Grava	Arena		Humedad Real de Arena	Humedad Real de Grava	Aumentar o disminuir	Perdida por Evaporación	Agua a agregar					
Nº	(g)	(g)	(g)	(g)	(g)	(g)	(g)	(%)	(g)	(g)				
1	90.8	2842	1967	417	1.87	0.94	308	0.20	10	318				
2	90.8	2842	1967	417	1.87	0.94	308	0.20	10	318				
VERIFICACIÓN DE MOLDEO														
Briquetas	Diámetro	Altura	Volumen Original	Porcent. de Cemento en peso	Peso del molde mas material	Peso de material humedo	DETERMINACION DE PORCENTAJE DE HUMEDAD					CUERPO DE PRUEBA		
							Tara	Peso hume.	Peso Seco	Peso Cáps.	Água	Suelo Seco	Humedad	Densid. Hume.
Nº	Ø	h	V	(%)	(g)	(g)	Nº	(g)	(g)	(g)	(g)	(%)	(g)	(g/cm ³)
1	10.2	20.5	1683	1.9	3783.0	3783.0		501.9	462.6	39.3	462.6	8.50	2.248	2.072
2	10.2	20.5	1686	1.9	3790.0	3790.0		516.8	476.4	40.4	476.4	8.48	2.248	2.072
CAMBIO DE VOLUMEN Y HUMEDAD DEL ESPECIMEN														
Ciclo	Hora	Briquetas	Peso del Especimen húmedo	Diámetro	Altura	Vol. del Esp.	Porcentaje de Volumen	Peso Especimen Seco	Diámetro	Altura	Vol. del Esp.	Porcentaje de Volumen	Promedio de Volumen	Porcentaje de Humedad
		Briqueta	(g)	Ø	h	V	%	(g)	Ø	h	V	%	%	%
1	08:45	Nº 1	3783.0	10.12	20.41	1642	97.6	3676.0	10.13	20.40	1644	97.7	97.6	2.91
2	08:45	Nº 1	3782.0	10.13	20.43	1647	97.9	3676.4	10.12	20.43	1643	97.6	97.7	2.87
3	08:45	Nº 1	3780.4	10.14	20.44	1651	98.1	3679.4	10.14	20.42	1649	98.0	98.0	2.75
4	08:45	Nº 1	3778.0	10.11	20.45	1642	97.6	3672.4	10.12	20.45	1645	97.7	97.7	2.88
5	08:45	Nº 1	3776.5	10.12	20.41	1642	97.6	3671.3	10.14	20.44	1651	98.1	97.8	2.87
6	08:45	Nº 1	3775.9	10.15	20.40	1651	98.1	3669.8	10.13	20.43	1647	97.9	98.0	2.89
7	08:45	Nº 1	3782.0	10.13	20.44	1647	97.9	3676.4	10.11	20.46	1642	97.6	97.7	2.87
8	08:45	Nº 1	3782.1	10.12	20.46	1646	97.8	3676.4	10.13	20.45	1648	97.9	97.9	2.88
9	08:45	Nº 1	3781.8	10.11	20.42	1639	97.4	3674.2	10.14	20.44	1651	98.1	97.7	2.93
10	08:45	Nº 1	3780.3	10.13	20.43	1647	97.9	3672.4	10.12	20.43	1643	97.6	97.7	2.94
11	08:45	Nº 1	3778.9	10.14	20.44	1651	98.1	3670.4	10.13	20.42	1646	97.8	98.0	2.96
12	08:45	Nº 1	3779.8	10.11	20.45	1642	97.6	3672.5	10.11	20.44	1641	97.5	97.5	2.92
PÉRDIDA DE SUELO CEMENTO DEL ESPECIMEN														
Ciclo	Hora	Briquetas	Diámetro	Altura	Volumen del Especimen	Peso despues de 5 Horas en Agua	Peso despues de 48 Horas en Horno a 71 °C	Peso despues del Cepillado	Pérdida Suelo-Cemento					
		Briqueta	Ø	h	V	(g)	(g)	(g)	%					
1	14:45	Nº 2	10.12	20.43	1643	3678.0	3568.7	3545.0	2.92					
2	14:45	Nº 2	10.13	20.44	1647	3675.0	3566.3	3512.0	3.76					
3	14:45	Nº 2	10.15	20.46	1655	3674.8	3566.8	3465.0	5.06					
4	14:45	Nº 2	10.11	20.42	1639	3676.4	3568.4	3421.0	6.31					
5	14:45	Nº 2	10.14	20.43	1650	3677.4	3568.5	3366.0	7.82					
6	14:45	Nº 2	10.12	20.42	1643	3677.5	3567.8	3297.0	9.69					
7	14:45	Nº 2	10.13	20.41	1645	3673.4	3565.9	3203.0	12.22					
8	14:45	Nº 2	10.11	20.44	1641	3676.9	3567.9	3167.0	13.25					
9	14:45	Nº 2	10.12	20.43	1643	3675.9	3566.8	3132.0	14.18					
10	14:45	Nº 2	10.14	20.45	1651	3674.2	3564.9	3082.0	15.51					
11	14:45	Nº 2	10.13	20.42	1646	3672.4	3564.2	3045.0	16.51					
12	14:45	Nº 2	10.14	20.43	1650	3671.4	3563.2	3018.0	17.22					

Perdida Suelo-Cemento 17.2 %

Tabla 24:

Humedecimiento y secado de mezclas de suelo-cemento compactadas C-2(2.15% cemento)

Máxima Densidad Seca gr/cm ³		2.072		PESOS DE BRIQUETAS - MÉTODO "B"						PARÁMETROS				
Ópt. Cont. Humedad %	8.5	Nº Briqueta	1	2	Nº Briqueta	1	2	Energía Compactada: Proctor Modificado al 100%						
Óptimo de Cemento %	2.2	Peso Original Briq.	3764.0	3781.0	Volumen Original	1675	1682	Número de golpes: 44 (5 Capas)						
Humedad de Arena %	3.31	Peso Seco a 110 °C	3683.0	3698.0	% de Volumen	98.3	97.9							
Humedad de Grava %	1.73	Peso Seco Corregido	3603.7	3616.8	% Humedad	2.2	2.2							
COMPOSICIÓN DE MUESTRA														
Peso total de la Mezcla		4900 (g)		Suelo Grueso		Peso hum: 6543 (g)		Suelo Fino		Peso húmedo: 6432 (g)		% Grava 58.0		
						Peso seco: 6432 (g)				Peso seco: 6226 (g)		% Arena 42.0		
CANTIDADES DE AGUA														
Especimen	Nº	Peso del Cemento (g)	Peso del Suelo Seco (g)		Agua Necesaria (g)	Humedad Real de Arena (g)	Humedad Real de Grava (g)	Aumentar o disminuir (g)	Perdida por Evaporación (%)		Agua a agregar (g)			
			Grava	Arena					(%)	(g)				
	1	105.5	2842	1953	417	1.39	1.00	326	0.20	10	336			
	2	105.5	2842	1953	417	1.39	1.00	326	0.20	10	336			
VERIFICACIÓN DE MOLDEO														
Briqueta	Díametro	Altura	Volumen Original	Porcent. de Cemento en peso (%)	Peso del molde mas material (g)	Peso de material húmedo (g)	DETERMINACIÓN DE PORCENTAJE DE HUMEDAD				CUERPO DE PRUEBA			
							Tara	Peso hume. (g)	Peso Seco (g)	Peso Cáps. (g)	Água (g)	Suelo Seco (g)	Humedad (%)	Densid. Hume. (g)
Nº	Ø	h	V	(%)	(g)	(g)	Nº	(g)	(g)	(g)	(g)	(%)	(g)	(g/cm ³)
1	10.22	20.4	1675	2.2	3764.0	3764.0		505.3	465.8	39.5	465.8	8.47	2.247	2.072
2	10.23	20.46	1682	2.2	3781.0	3781.0		529.3	487.9	41.4	487.9	8.49	2.248	2.072
CAMBIO DE VOLUMEN Y HUMEDAD DEL ESPECIMEN														
Ciclo	Hora	Briqueta	Peso del Especimen húmedo (g)	Díametro	Altura	Vol. del Esp. (V)	Porcentaje de Volumen (%)	Peso Especimen Seco (g)	Díametro	Altura	Vol. del Esp. (V)	Porcentaje de Volumen (%)	Promedio de Volumen (%)	Porcentaje de Humedad (%)
1	09:05	Nº 1	3764.0	10.12	20.41	1642	98.0	3658.0	10.14	20.42	1649	98.4	98.2	2.90
2	09:05	Nº 1	3762.0	10.13	20.43	1647	98.3	3656.7	10.12	20.45	1645	98.2	98.3	2.88
3	09:05	Nº 1	3760.0	10.14	20.44	1651	98.6	3655.2	10.13	20.42	1646	98.3	98.4	2.87
4	09:05	Nº 1	3759.6	10.13	20.42	1646	98.3	3653.8	10.12	20.43	1643	98.1	98.2	2.90
5	09:05	Nº 1	3761.4	10.12	20.45	1645	98.2	3655.8	10.13	20.42	1646	98.3	98.2	2.89
6	09:05	Nº 1	3760.6	10.13	20.44	1647	98.3	3654.9	10.15	20.42	1652	98.6	98.5	2.89
7	09:05	Nº 1	3759.7	10.14	20.43	1650	98.5	3654.2	10.13	20.44	1647	98.3	98.4	2.89
8	09:05	Nº 1	3758.4	10.15	20.40	1651	98.6	3653.2	10.14	20.42	1649	98.4	98.5	2.88
9	09:05	Nº 1	3763.2	10.11	20.43	1640	97.9	3657.8	10.11	20.43	1640	97.9	97.9	2.88
10	09:05	Nº 1	3761.4	10.13	20.45	1648	98.4	3655.8	10.12	20.41	1642	98.0	98.2	2.89
11	09:05	Nº 1	3760.5	10.11	20.41	1638	97.8	3653.4	10.11	20.43	1640	97.9	97.9	2.93
12	09:05	Nº 1	3758.7	10.14	20.42	1649	98.4	3651.8	10.13	20.45	1648	98.4	98.4	2.93
PÉRDIDA DE SUELO CEMENTO DEL ESPECIMEN														
Ciclo	Hora	Briqueta	Díametro	Altura	Volumen del Especimen	Peso despues de 5 Horas en Agua (g)	Peso despues de 48 Horas en Horno a 71 °C (g)	Peso despues del Cepillado (g)	Pérdida Suelo-Cemento (%)					
1	15:05	Nº 2	10.13	20.41	1645	3871.8	3756.8	3744.0	2.53					
2	15:05	Nº 2	10.12	20.43	1643	3870.4	3756.4	3718.0	3.20					
3	15:05	Nº 2	10.13	20.44	1647	3868.9	3754.3	3673.0	4.31					
4	15:05	Nº 2	10.14	20.42	1649	3870.4	3755.8	3624.0	5.63					
5	15:05	Nº 2	10.15	20.40	1651	3869.4	3754.3	3598.0	6.27					
6	15:05	Nº 2	10.13	20.45	1648	3867.5	3753.4	3540.0	7.76					
7	15:05	Nº 2	10.12	20.41	1642	3865.6	3750.6	3515.0	8.34					
8	15:05	Nº 2	10.13	20.43	1647	3864.2	3748.9	3486.0	9.05					
9	15:05	Nº 2	10.15	20.45	1655	3866.8	3752.4	3385.0	11.77					
10	15:05	Nº 2	10.12	20.43	1643	3869.4	3753.2	3363.0	12.36					
11	15:05	Nº 2	10.14	20.44	1651	3870.4	3755.8	3312.0	13.75					
12	15:05	Nº 2	10.13	20.45	1648	3869.5	3754.8	3276.0	14.67					

Perdida Suelo-Cemento 14.7 %

Tabla 25:

Humedecimiento y secado de mezclas de suelo-cemento compactadas C-2 (2.45% cemento)

Máxima Densidad Seca gr/cm ³		2.072	PESOS DE BRIQUETAS - MÉTODO "B"						PARAMETROS						
Ópt. Cont. Humedad	%	8.5	Nº Briqueta	1	2	Nº Briqueta	1	2	Energía Compactada:						
Óptimo de Cemento	%	2.5	Peso Original Briq.	3772.0	3764.0	Volumen Original	1678	1673	Proctor Modificado al 100%						
Humedad de Arena	%	2.99	Peso Seco a 110 °C	3688.0	3676.0	% de Volumen	98.1	98.6	Número de golpes:						
Humedad de Grava	%	1.34	Peso Seco Corregido	3605.9	3590.1	% Humedad	2.3	2.4	44 (5 Capas)						
COMPOSICIÓN DE MUESTRA															
Peso total de la Mezcla			Suelo Grueso		Peso hum:	633.8	(g)	Suelo Fino	Peso humedo:	643.2	(g)	% Grava	58.0		
4900					Peso seco:	625.4	(g)		Peso seco:	624.5	(g)	% Arena	42.0		
Especimen	Peso del Cemento	Peso del Suelo Seco		Agua Necesaria	CANTIDADES DE AGUA			Perdida por Evaporación		Agua a agregar					
		Grava	Arena		Humedad Real de Arena	Humedad Real de Grava	Aumentar o disminuir	(%)	(g)						
Nº	(g)	(g)	(g)	(g)	(g)	(g)	(g)	(g)	(%)	(g)	(g)				
1	120.2	2842	1938	417	1.26	0.78	338	0.20	10	348					
2	120.2	2842	1938	417	1.26	0.78	338	0.20	10	348					
VERIFICACIÓN DE MOLDEO															
Briquet	Diámetro	Altura	Volumen Original	Porcent. de Cemento en peso	Peso del molde mas material	Peso de material humedo	DETERMINACION DE PORCENTAJE DE HUMEDAD					CUERPO DE PRUEBA			
							Tara	Peso hume.	Peso Seco	Peso Cáps.	Água	Suelo Seco	Humedad	Densid. Hume.	Densid. Aparen.
Nº	Ø	h	V	(%)	(g)	(g)	Nº	(g)	(g)	(g)	(g)	(g)	(%)	(g)	(g/cm ³)
1	10.2	20.45	1678	2.5	3772.0	3772.0		516.7	476.3		40.4	476.3	8.48	2.248	2.072
2	10.2	20.4	1673	2.5	3764.0	3764.0		556.0	512.4		43.6	512.4	8.51	2.250	2.073
CAMBIO DE VOLUMEN Y HUMEDAD DEL ESPECIMEN															
Ciclo	Hora	Briquet	Peso del Especimen húmedo	Diámetro	Altura	Vol. del Esp.	Porcentaje de Volumen	Peso Especimen Seco	Diámetro	Altura	Vol. del Esp.	Porcentaje de Volumen	Promedio de Volumen	Porcentaje de Humedad	
		Briquet	(g)	Ø	h	V	%	(g)	Ø	h	V	%	%	%	
1	09:45	Nº 1	3772.0	10.12	20.41	1642	97.9	3665.0	10.12	20.41	1642	97.9	97.9	2.92	
2	09:45	Nº 1	3770.0	10.13	20.42	1646	98.1	3662.4	10.14	20.43	1650	98.3	98.2	2.94	
3	09:45	Nº 1	3768.0	10.14	20.43	1650	98.3	3660.5	10.15	20.44	1654	98.6	98.5	2.94	
4	09:45	Nº 1	3769.4	10.13	20.44	1647	98.2	3664.5	10.13	20.45	1648	98.2	98.2	2.86	
5	09:45	Nº 1	3766.8	10.15	20.43	1653	98.5	3663.6	10.12	20.42	1643	97.9	98.2	2.82	
6	09:45	Nº 1	3765.9	10.11	20.41	1638	97.6	3660.5	10.11	20.41	1638	97.6	97.6	2.88	
7	09:45	Nº 1	3764.8	10.12	20.44	1644	98.0	3658.9	10.14	20.42	1649	98.3	98.1	2.89	
8	09:45	Nº 1	3770.4	10.13	20.42	1646	98.1	3661.3	10.13	20.44	1647	98.2	98.1	2.98	
9	09:45	Nº 1	3771.5	10.14	20.41	1648	98.2	3664.3	10.11	20.45	1642	97.9	98.0	2.93	
10	09:45	Nº 1	3768.9	10.12	20.45	1645	98.0	3661.5	10.12	20.43	1643	97.9	98.0	2.93	
11	09:45	Nº 1	3769.4	10.13	20.44	1647	98.2	3662.4	10.15	20.42	1652	98.5	98.3	2.92	
12	09:45	Nº 1	3771.4	10.14	20.45	1651	98.4	3664.8	10.11	20.43	1640	97.7	98.1	2.91	
PÉRDIDA DE SUELO CEMENTO DEL ESPECIMEN															
Ciclo	Hora	Briquet	Diámetro	Altura	Volumen del Especimen	Peso despues de 5 Horas en Agua	Peso despues de 48 Horas en Horno a 71 °C	Peso despues del Cepillado	Perdida Suelo-Cemento						
		Briquet	Ø	h	V	(g)	(g)	(g)	%						
1	15:45	Nº 2	10.13	20.43	1647	3881.4	3758.4	3745.0	2.69						
2	15:45	Nº 2	10.12	20.45	1645	3880.0	3757.8	3732.0	3.01						
3	15:45	Nº 2	10.13	20.44	1647	3878.8	3756.4	3703.0	3.73						
4	15:45	Nº 2	10.14	20.42	1649	3879.4	3755.2	3687.0	4.11						
5	15:45	Nº 2	10.13	20.45	1648	3877.5	3753.2	3632.0	5.49						
6	15:45	Nº 2	10.14	20.44	1651	3876.4	3752.4	3587.0	6.64						
7	15:45	Nº 2	10.15	20.46	1655	3874.3	3752.4	3565.0	7.22						
8	15:45	Nº 2	10.14	20.44	1651	3875.4	3753.4	3523.0	8.33						
9	15:45	Nº 2	10.12	20.47	1647	3874.2	3752.5	3489.0	9.20						
10	15:45	Nº 2	10.14	20.43	1650	3876.4	3753.2	3454.0	10.12						
11	15:45	Nº 2	10.12	20.46	1646	3872.5	3750.4	3402.0	11.41						
12	15:45	Nº 2	10.15	20.45	1655	3871.4	3749.8	3365.0	12.36						

Perdida Suelo-Cemento 12.4 %

Tabla 26 :

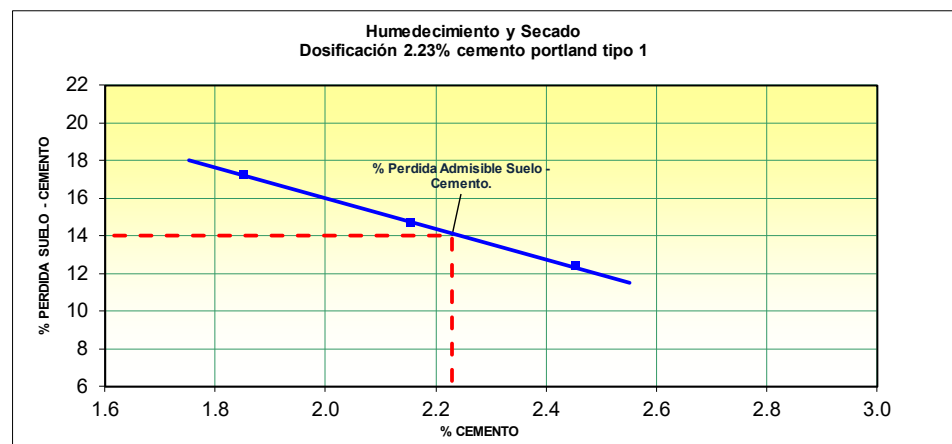
Resumen de % de desgaste para las dosificaciones por ensayo humedad-secado

C-2

% Cemento	% Desgaste (Humed. Y Secado)
1.85	17.22
2.15	14.67
2.45	12.36

Figura 30 :

Grafica de perdida suelo-cemento con respecto al % de cemento en C-2



A partir de los ensayos de humedecimiento-secado se obtuvo 3 puntos donde se creó una línea de comportamiento (nótese en la figura previa), donde se observa un 2.23% de cemento es óptimo para un mínimo de 14% de pérdida por cemento-suelo.

Figura 31:

Probetas realizadas



CAPITULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

- Se logro analizar la estabilización del suelo en los caminos vecinales de Pocollay a través de ensayos de resistencia a compresión simple y humedecimiento-secado de testigos para las diferentes dosificaciones de una estabilización flexible (1-4%), donde las características del suelo y su distinta clasificación de los 2 puntos seleccionados influyo directamente en la estabilización de los suelos.
- La caracterización de material de excavación en las asociaciones de vivienda en Manco Cápac, Las Colinas y Alto Vilauta varió mucho en su clasificación a pesar de haber poca distancia entre las muestras obtenidas
- Se logro determinar las diferentes resistencias alcanzadas para cada muestra obtenida, a los 7 días con los distintos % de cemento
- Para lograr el contenido de agua optimo es necesario conocer el contenido de humedad a través del Proctor modificado y después seguir la norma CE020 para estabilización de cemento, ya que en esta se encuentra la resistencia mínima de compresión a cumplir y la perdida por ensayo por

secado-humedecimiento para diferentes tipos de suelos y así escoger el % de cemento correcto.

5.2 RECOMENDACIONES

- Se recomienda utilizar un método que disminuya la permeabilidad en los suelos arcillosos, donde la cal es la opción más común, haciendo que esta sea más trabajable, previo a la mezcla con cemento, debido a que el cemento aumenta la resistencia ante las cargas, pero no garantiza que el agua no ingresará en la mezcla.
- Se recomienda un curado durante 7 días para cada briqueta para que alcance su resistencia máxima y también tapar los huecos y rajaduras en las muestras previas a los ensayos de compresión y secado-humedecimiento
- Verificar la cantidad de sulfato en los suelos seleccionados ya que influye en el tipo de cemento que se usara para estabilizar el suelo

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Alpañes, J. A. (1975). GEOTECNIA Y CIMIENTOS- Tomo 1, Propiedades de los Suelos y de las Rocas. Madrid: RUEDA.

Alpañes, J. y. (1975). Geotecnica y Cimientos. Madrid: Rueda.

ANCADE, ANTER, IECA. (2009). Manual de estabilización de suelos con cemento o cal. Madrid: Instituto Español del Cemento y sus Aplicaciones (IECA).

Arman, Z. G. (2007). Posibles relaciones entre los índices de compresión y recompresión de un suelo arcilloso de baja plasticidad. *Revista árabe de ciencia e ingeniería*

Bañón Blázquez, Luis; Beviá García, José Francisco(2000). *Manual de carreteras*. Alicante: Ortiz e Hijos, Contrastista de Obras, S.A.

Barbosa, P. A. (2020). *Suelos y Vulcanismo*. Buenos Aires: Asociación Argentina de la Ciencia del Suelo. Argentina

Barros, L. P., & Imhoff, F. A. (2010). Resistencia sísmica del suelo-cemento post tensado en construcciones de baja complejidad geométrica. *Revista de la construcción*.

Boada, J. G. (15 de Octubre de 2019). BookCivil. Obtenido de Clasificación del suelo de acuerdo a SUCS y AAHSTO: <https://www.bookcivil.com/ciclo-basico/clasificacion-del-suelo-de-acuerdo-a-sucs-y-aahsto-excel/>

Carlos Jurado & Daniel Clavijo (2016), *Estabilización de suelos con cemento tipo MH para mejorar las características físicas y mecánicas del material de subsuelo de la zona de talleres y cocheras de la PLMQ, sector Quitumbe*. Quito: Pontificia Universidad Católica del Ecuador.

Corral, J. T. (2008). *El suelo-cemento como material de construcción*. ciencia y sociedad.

David Cedeño Plaza (2013), *Investigación de la estabilización de*

suelos con enzima aplicado a la sub-rasante de la avenida Quitumbe - Ñan, Cantón .Quito. Universidad Central del Ecuador, Ecuador.

De la Fuente Lavalle, I. E. (1995). Suelo-cemento: sus usos, propiedades y aplicaciones. Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto. Mexico: M. en A. Soledad Moliné Venanzi.

Enrique Pasquel Carbajal (1999), Tópicos de Tecnología de Concreto. Lima: Colegio de Ingenieros del Perú.

George Palacios Cardoza (2019), Análisis técnico-económico del suelo-cemento en pisos de viviendas de bajos recursos. Piura: Universidad Nacional de Piura. Perú

Gordon Kellar, James Sherar(2004). Guía de campo para las mejores prácticas de administración de caminos rurales.. Instituto mexicano de transportes

Instituto del Cemento Portland Argentino. (2015). Construcción de bases y subbases de suelo cemento. ICPA. Recuperado el 05 de Septiembre de 2017, de <http://www.icpa.org.ar/publico/files/articulos-tecnicos/2015-07-ConstruccionSuelo-Cemento.pdf>

Jefferson, L. D. (2012). Expansive soils. Institution of Civil Engineers Manuals series,

Jhonatan Garcia(2019). Estudio de la técnica de suelo-cemento para la estabilización de vías terciarias en Colombia que posean un alto

contenido de caolín. Bogotá: Universidad Católica de Colombia, Colombia

Jofré, C. (2012). Manual de estabilización de suelos con cemento o cal. Madrid: Vaquero Servicios de Publicaciones.

Kalantari, B. (2012). Foundation on Expansive Soils: A Review. Research Journal of Applied Sciences, Engineering and Technology

Karl Terzaghi, R. B. (1963). Mecánica de suelos en la ingeniería práctica. California: El Ateneo Editorial.

Kraemer, C. (2012). Manual de estabilización de suelos con cemento o cal. Madrid: Vaquero Servicios de Publicaciones.

Machinery, H. (30 de Noviembre de 2011). Civilgeeks.com. Obtenido de Estabilización de suelos con asfalto: <https://civilgeeks.com/2011/11/30/estabilizacion-de-suelos-con-asfalto/>

Marcio Rocha Pitta (2002), Dosificación de Mezclas de Suelo-Cemento Normas de Dosificación. La Paz: Instituto Boliviano del Cemento y el Hormigón.

Márquez, J. J. (2006). Master en ingeniería del agua sostenible. Mecánica de suelos y estudios geotécnicos en obras de ingeniería

Municipalidad Distrital de Pocollay (2020) Plan de desarrollo local concertado del distrito de Pocollay, Tacna. <http://www.munidepocollay.gob.pe/media/normativa/2382/2382-plan->

de-desarrollo-local-concertado-2020-2025-d78b1292dd2bea9a.pdf

Palacios Cardoza, G. R. (2019). Análisis técnico-económico del suelo-cemento en pisos de viviendas de bajos recursos.

Pedro Antonio Serigos (2009) “Rigidez a Baja Deformación de Mezclas de Suelo de la Formación de Pampeano y Cemento Portland” Facultad de Ingeniería Universidad de Buenos Aires.

Pedro Antonio Serigos (2009) Rigidez a Baja Deformación de Mezclas de Suelo de la Formación de Pampeano y Cemento Portland. Buenos Aires: Facultad de Ingeniería Universidad de Buenos Aires, Argentina.

Pinzon, R. (18 de Septiembre de 2019). Scribd. Obtenido de Estabilización de Suelos con Ácido Fosfórico: <https://es.scribd.com/document/426360874/Estabilizacion-de-Suelos-Con-Acido-Fosforico>

Portland Cement Association. (1995). Soil Cement Construction. Chicago.

Toirac Corral José (2008) El Suelo-Cemento como Material de Construcción, Santo Domingo: Instituto Tecnológico de Santo Domingo, República Dominicana.

Verruijt, A. (2008). Consolidation of Soils. Chichester: John Wiley & Sons, Ltd.