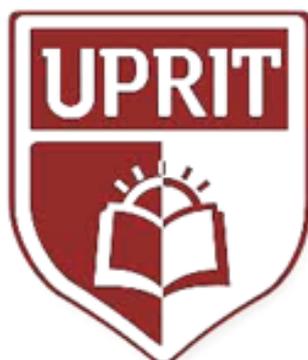


UNIVERSIDAD PRIVADA DE TRUJILLO
CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL



**BASES TEORICAS PARA EVALUAR LA INFLUENCIA DE LA ADICIÓN DE LA
MEZCLA CENIZA VOLANTE DE CASCARILLA DE MANÍ CON CAL EN LAS
PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS EN EL SUELO DE BUENOS AIRES
DISTRITO DE VICTOR LARCO HERRERA - TRUJILLO – LA LIBERTAD, 2018.**

**TRABAJO DE INVESTIGACION PARA
OPTAR EL GRADO DE BACHILLER**

AUTOR:

Jhonny Cris Silva Bermejo

TRUJILLO - PERU

2019

I. INDICE

I. INTRODUCCION	5
1.1. Delimitación del problema que motiva el estado del arte.....	6
1.1.1. Campo Temático	7
1.1.2. Espacio	7
1.1.3. Tiempo	7
1.2. FORMULACION DEL PROBLEMA	7
1.3. JUSTIICACIÓN DEL TEMA	8
1.3.1. Realidad Problemática	8
1.3.2. Aspectos diferenciados de justificación	9
1.4. OBJETIVOS	10
1.4.1. OBJETIVO GENERAL	10
1.4.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS	10
1.5. PROCEDIMIENTOS METODOLICOS SEGUIDOS	11
1.5.1. Técnica de recolección	11
1.5.2. Instrumentos de recolección	11
1.5.3. Fuentes de Información	11
II. RESULTADOS RESPECTO A LOS ANTECEDENTES ESTADO DEL ARTE O ESTADO DE LA CUESTION	12
2.1. ANTECEDENTES	12
2.1.1. TITULO: “ESTABILIZACIÓN DE SUELOS ARCILLOSOS CON CENIZAS DE CARBÓN PARA SU USO COMO SUBRASANTE MEJORADA Y/O SUB BASE DE PAVIMENTOS”.....	12
2.1.2. TITULO: “EFECTO DE LA CAL COMO ESTABILIZANTE DE UNA SUBRASANTE DE SUELO ARCILLOSO”.....	13
2.1.3. TITULO: “ESTABILIZACION DE UN SUELO ARCILLOSO CON CAL HIDRATADA, PARA SER UTILIZADA COMO CAPA SUBRASANTE DE PAVIEMENTOS EN LA COLONIA DE SAN JUAN CAPISTRANO DE CIUDAD OBREGON”.....	14
2.1.4. TITULO: “CAPACIDAD PORTANTE (CBR) DE UN SUELO ARCILLOSO, CON LA INCORPORACIÓN DEL	

ESTABILIZADOR MAXXSEAL 100”	16
2.1.5. TITULO: “UTILIZACIÓN DE BOLSAS DE POLIETILENO PARA EL MEJORAMIENTO DE SUELO A NIVEL DE LA SUBRASANTE EN EL JR. AREQUIPA, PROGRESIVA KM 0+000 - KM 0+100, DISTRITO DE ORCOTUNA, CONCEPCIÓN”	17
2.1.6. TITULO: “MEJORAMIENTO DE LA CAPACIDAD PORTANTE DEL SUELO PLANIFICANDO GEOTEXILES Y GEOMALLAS PARA CIMENTACIONES EN ZONAS DE BAJA RESISTENCIA”	18
2.1. BASES TEORICAS	19
2.2.1. SUELO	19
2.2.2. PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DEL SUELO	20
2.2.3. CAL	21
2.2.4. CENIZAS VOLANTES	21
2.2.5. GENERALIDADES DE LAS ESTABILIZACIONES	26
2.2.6. MÉTODOS DE ESTABILIZACIÓN DE SUELOS	26
2.2.7. DESCRIPCIÓN Y COMPARACIÓN DE PROCEDIMIENTOS DE CONSTRUCCIÓN	28
2.2.8. VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LOS DIFERENTES MÉTODOS DE APLICACIÓN DE CAL	29
2.2.9. MECANISMO DE LA REACCIÓN ENTRE LA CAL Y LAS CENIZAS VOLANTES	31
2.2.10. ENSAYOS EN SUELO DE FUNDACIÓN	33
2.2.11. LÍMITES DE CONSISTENCIA DEL SUELO	36
2.2.12. COMPACTACION	38
2.2.13. CORTE DIRECTO	41
III. CONCLUSION	41
IV. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	42
V. ANEXOS	43

II. RESUMEN

La presente monografía busca obtener información técnica necesaria para elaborar la investigación influencia de la adición de la mezcla ceniza volante de cascarilla de maní con cal en las propiedades físicas y mecánicas en el suelo de Buenos Aires distrito de Víctor Larco herrera - Trujillo – La Libertad. Este sitio posee problemas en los suelos tanto por su ubicación geográfica como por la composición de sus estratos. Como aporte al conocimiento se requiere encontrar todo el marco teórico que nos permita mejorar las propiedades físicas y mecánicas usando como tratamiento la adición de la mezcla de ceniza de cascarilla de maní con cal, obtenido de la quema industrial; variando el porcentaje de adición.

La obtención en el proceso de búsqueda de información se realizó tomando en cuenta el Reglamento Nacional de Edificaciones en especial la Norma E-050, se recolectaron datos, utilizando matriz de datos, aplicando fuentes de información primaria, que resulta de suma importancia en la búsqueda del conocimiento necesario para llevar a cabo la investigación en dicho lugar.

Con la teoría encontrada se determinó que las cenizas presentan propiedades de: capacidad reactiva, puzolánica e hidráulica, mejoran la trabajabilidad; razón por la que se utilizó como adición, sustentando la teoría necesaria para su aplicación.

PALABRAS CLAVES

- Ceniza volante de cascarilla de maní
- Cal
- Propiedades físicas del suelo
- Propiedades mecánicas del suelo

III. ABSTRAC

The present monograph seeks to obtain technical information necessary to elaborate the research influence of the addition of the fly ash mixture of peanut husk with lime in the physical and mechanical properties in the soil of Buenos Aires district of Victor Larco herrera - Trujillo - La Libertad. This site has problems in soils both because of its geographical location and because of the composition of its strata. As a contribution to knowledge it is necessary to find all the theoretical framework that allows us to improve the physical and mechanical properties using as treatment the addition of the peanut husk ash mixture with lime, obtained from industrial burning; varying the percentage of addition.

The obtaining in the information search process was done taking into account the National Building Regulations especially the E-050 Standard, data were collected, using data matrix, applying primary information sources, which is very important in the search of the knowledge necessary to carry out the research in said place.

With the theory found it was determined that the ashes have properties of: reactive, pozzolanic and hydraulic capacity, improve the workability; reason why it was used as an addition, supporting the theory necessary for its application.

KEYWORDS

- Flying ash of peanut husk
- Cal
- Physical properties of the soil
- Mechanical properties of the soil

I. INTRODUCCION

La licuefacción del suelo es una condición en la cual, un suelo pierde su resistencia y se comporta como un fluido muy viscoso, debido a la generación de altas presiones en el agua que se encuentra entre sus granos (presión de poros). La ocurrencia de un evento sísmico potencialmente desastroso durante cierto período de tiempo en un sitio dado, Trujillo no es ajena, ya que está ubicada en una zona en estudio. Los sismos no se presentan sólo en las zonas sísmo genéticas sino en todas aquellas que están suficientemente cercanas a las mismas, hasta donde pueden llegar ondas de amplitud significativa. Esto agrava la amenaza de una zona a los sismos. En la región la tectónica de placas indica que los sismos ocurren cuando se da un corrimiento entre las áreas de contacto de la Placa Sudamericana (continental) y la Placa de Nazca (oceánica). A esto se le llama subducción.

Teniendo en cuenta el silencio sísmico de la zona de estudio, entendido que, si en esta área se han dado grandes terremotos en el pasado, éstos volverán a ocurrir en el futuro; se evidencia que la ciudad posee una amenaza sísmica alta. Este fenómeno se puede presentar durante un sismo y fundamentalmente ocurre en suelos arenosos saturados. Los esfuerzos de corte cíclicos que genera un sismo, mediante las ondas que están viajando por la corteza terrestre, hacen que las partículas de suelos sufran reacomodos y se produzca densificación. Teniendo en cuenta que la duración de los esfuerzos de corte cíclico es muy pequeña en comparación con el tiempo necesario para que ocurra algún drenaje, la tendencia de la arena a disminuir su volumen durante cada ciclo, se refleja en un incremento de la presión de poros.

Esto causa reducción continua del esfuerzo efectivo y consecuentemente reducción en la resistencia de la arena. Si el número de ciclos es tal que la presión de poros iguala a la presión de confinamiento

inicial, el esfuerzo efectivo existente en el esqueleto de la arena se reduce a cero, perdiendo la resistencia al corte dicho suelo; presentándose flujos ascendentes de agua debido a las presiones altas. Los daños más saltantes que un fenómeno de licuación puede presentar son grandes asentamientos o agrietamientos del terreno. No existe un software para poder estimar de qué modo afecta a una estructura este fenómeno, pero si existen distintas metodologías para evaluar el potencial de licuación del suelo. Saber que un suelo se licua ya una situación muy grave pues el daño sobre el edificio puede ser también muy graves.

1.1. Delimitación del problema que motiva el estado del arte

El análisis de las bases teóricas de la investigación, Influencia de la adición de la mezcla ceniza volante de cascarilla de maní con cal en las propiedades físicas y mecánicas en el suelo de buenos aires distrito de Víctor Larco herrera – Trujillo.

En esta tesis buscamos estudiar los efectos de la mezcla de la ceniza volante de la cascarilla de maní con la cal, en los suelos del distrito de Víctor Larco Herrera para mejorar sus propiedades físicas y mecánicas, a manera de estabilización. La estabilización de suelos es uno de los métodos más eficientes para aumentar las propiedades, evidenciado en los ensayos de Corte Directo, Límites de Attemberg, Granulometría, Porcentaje de Humedad, etc. Habiendo diferentes tipos de estabilización como la estabilización química, física y mecánicas. En su mayoría normadas por el Ministerio de Transportes y Comunicaciones y Normas como la E050 del Reglamento Nacional de Edificaciones.

La ceniza volante actúa conjuntamente con la cal creando una mezcla puzolánica cementante que al ser añadida al suelo de baja plasticidad y capacidad portante le confiere propiedades mecánicas muy superiores al suelo original.

De obviar las investigaciones dirigidas a mejorar los suelos, no se encontrarían alternativas de solución a las deficiencias de calidad de suelo como material portante; las cimentaciones llevarían mayores requerimientos de profundidad; las construcciones estarían propensas a tener fallas por licuefacción de suelos o asentamientos diferenciales. Fallas de por sí muy peligrosas que podrían causar el colapso total de la edificación y la pérdida de bienes económicos y humanos.

Optar por otros métodos de estabilización se traduce en mayores costos económicos y estudios más específicos, que bien podrían realizarse a futuro si es que resultaran más eficientes.

1.1.1. Campo Temático

- Geotecnia.

1.1.2. Espacio

Lugar : Buenos aires sur
Distrito : Víctor Larco
Provincia : Trujillo.
Región : La Libertad

1.1.3. Tiempo

Diciembre 2018 a enero del 2019

1.2. FORMULACION DEL PROBLEMA

¿Cuál son las bases teóricas que permitirán realizar la investigación Influencia de la adición de la mezcla ceniza volante de cascarilla de maní con cal en las propiedades físicas y mecánicas en el suelo de buenos aires distrito de Víctor Larco Herrera - Trujillo – La Libertad?

1.3. Justificación del Tema

1.3.1. Realidad Problemática

En Perú se estudian las propiedades mecánicas de algunos suelos arcillosos, que debido a su baja capacidad de soporte y mala calidad no siempre cumplen con los requerimientos necesarios para ser empleados en proyectos de pavimentación y cimentaciones. Una alternativa de solución es mejorar las características mecánicas del material, estabilizándolo con productos adicionados. Los pavimentos de carreteras que se construyen sobre suelo de baja capacidad de soporte, presentan un elevado costo porque su diseño demanda mayores espesores. Luego su vida útil disminuye por problemas de hundimientos o asentamientos. Un problema adicional, en zona de selva, es el escaso número de canteras de material granular, que justifican realizar trabajos de estabilización de suelos. Las plantas termoeléctricas, como la ubicada en la provincia de Ilo, utilizan carbón mineral bituminoso como fuente de calor y que producen cenizas y escorias como residuo de su proceso industrial, podrían ser usadas en pavimentos, tal como sucede en otros países. (PEREZ COLLANTES, 2012)

En Trujillo, se vienen realizando estudios del suelo dónde serán transmitidas las cargas producto de cargas vehiculares y cargas verticales de las estructuras como parte del plan de reconstrucción nacional. Estos deben encontrarse en tales condiciones que sean las adecuadas para resistirlas, pero cuando dicho suelo no posee las características apropiadas salen soluciones como el cambio del suelo por un material de préstamo optimizando las características de este, y también la estabilización de suelos para sin necesidad de hacer un cambio de suelo mejorando sus propiedades naturales de este suelo. Entre los múltiples factores que afectan la Estabilidad Estructural de los suelos tenemos en primer lugar la distribución de partículas por tamaño, la cual afecta a innumerables propiedades de los suelos, entre ellas: la consistencia, la estructura, la

porosidad y la velocidad de filtración, debido a que existe un porcentaje alto de espacios en los que contiene agua y aire, para que las partículas de un suelo puedan unirse entre sí, se requiere de un cierto porcentaje de partículas finas, aprovechando así las propiedades de las cenizas de carbón, cumpliendo como objetivo a la obtención de un suelo compactado, evaluando el comportamiento de suelos arcillosos y arenosos

El distrito de Víctor Larco Herrera, actualmente presenta problemas de erosión costera, fenómeno común en las playas que tiene como efecto la pérdida de la línea costera. Además, por una zona costera ante un evento sísmico es propensa a sufrir licuefacción del suelo debido a que el suelo saturado es poco cohesivo, dando como resultado el desplome de edificaciones, deslizamiento de tierras. Debiéndose implementar estudios de las propiedades físicas y mecánicas de los suelos allí presentes y su debida caracterización.

Las instituciones o entidades que contralaran los proyectos de contingencia son la Municipalidad de Víctor Larco Herrera y el Gobierno Regional de La Libertad. Bajo Normativa del Ministerios de Transportes y Carreteras y la Norma Técnica de Construcción.

1.3.2. Aspectos diferenciados de justificación

- La búsqueda de información general, permitirá establecer un estudio para poder determinar la influencia de adiciones al suelo que nos permitan mejorar sus propiedades físicas como mecánicas esto significa estabilizarlo para así poder construir edificaciones más altas y permitir el crecimiento vertical del distrito.
- Asimismo, las bases teóricas, buscan apertura a nuevas soluciones al problema de baja capacidad portante de la zona buscando cómo mejorar ese suelo.



- Los alcances de referencias técnicas permitirán realizar un análisis que incidan en aspectos concluyentes en la recopilación de información, cómo la optimización, relación y secuencias de la información obtenida.
- Desde la perspectiva de otorgar soluciones basadas en la obtención de información valorativa, se pretende demostrar que la búsqueda de información geotécnica corresponde al sustento que generan soluciones técnicas y normativas.

1.4. OBJETIVOS

1.4.1. OBJETIVO GENERAL

Redactar bases teóricas para realizar la investigación Influencia de la adición de la mezcla ceniza volante de cascarilla de maní con cal en las propiedades físicas y mecánicas en el suelo de buenos aires distrito de Víctor Larco Herrera - Trujillo – La Libertad.

1.4.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Definir información de las propiedades mecánicas de los suelos.
- Revisar la teoría acerca de la ceniza volante de la cascarilla de maní.
- Identificar la teoría acerca de la estabilización de suelos.
- Investigar acerca del mecanismo de reacción de la cal con las cenizas volantes.
- Investigar acerca de los ensayos de suelos de fundación.

1.5. PROCEDIMIENTOS METODOLÓGICOS SEGUIDOS

1.5.1. Técnica de recolección

- Revisión documental y análisis al contenido de la búsqueda de información, clasificación y selección de información de Bases Teóricas, con la consiguiente toma de lectura de las condiciones, procesos y consecuencias observables, servirán de aporte importante a una solución al problema detectado.
- La técnica empleada para la recolección de datos es la revisión documental que nos permitirá recolectar la información necesaria para realizar dicha investigación.

1.5.2. Instrumentos de recolección

>El instrumento de recolección de datos usado es la matriz de datos que representa el modo y forma que utiliza el investigador para recolectar la información adecuada para su tema, utilizando:

- Ver Anexo 01°, Anexo N° 02.

1.5.3. Fuentes de Información

Corresponde a los instrumentos diferenciados para la toma de conocimientos, búsqueda y acceso a información necesaria.

- **Fuente de datos primaria:**

- Norma E.050 Suelos y Cimentaciones.
- Investigaciones de artículos científicos en revistas indexadas acerca de las estabilizaciones de suelos.
- Tesis acerca del del uso de aditivos para el mejoramiento de los suelos.

II. RESULTADOS RESPECTO A LOS ANTECEDENTES ESTADO DEL ARTE O ESTADO DE LA CUESTION

2.1. ANTECEDENTES

2.1.1. TITULO: “ESTABILIZACIÓN DE SUELOS ARCILLOSOS CON CENIZAS DE CARBÓN PARA SU USO COMO SUBRASANTE MEJORADA Y/O SUB BASE DE PAVIMENTOS”.

(PEREZ COLLANTES , 2012) Realizo un método alternativo para la estabilización de suelos arcillosos con ceniza volante de carbón y que puede ser utilizado en la construcción de la capa sub-rasante mejorada de pavimento. La muestra de ceniza volante fue obtenida a partir de la quema de carbón proveniente de la planta termoeléctrica de Ilo-Perú, con la finalidad de evaluar su aplicabilidad en la sub-rasante con baja capacidad de soporte de los pavimentos en carreteras, mediante la mezcla de la ceniza volante con la arcilla de mediana plasticidad, característica de la selva central. Se comprobó que la mezcla de la ceniza volante en proporción adecuada con un suelo arcilloso presenta una mayor resistencia en la mezcla final, a fin de que pueda ser considerada como capa de sub-rasante de un pavimento y cumpla con las especificaciones técnicas para tal fin. Para esta investigación se realizaron diversos ensayos de laboratorio, entre los cuales podemos indicar los siguientes: Para la arcilla: Se realizaron ensayos de caracterización física (Análisis granulométrico por tamizado y por hidrómetro, humedad, límites de Atterberg), ensayo Próctor Modificado, ensayo de capacidad de soporte C.B.R, límites de contracción, gravedad específica, materia orgánica y composición química. Para la ceniza volante: Se realizaron ensayos de caracterización física (Análisis granulométrico por tamizado y por hidrómetro, humedad, límites de Atterberg), ensayo Próctor Modificado, límite de contracción, gravedad específica, materia orgánica y composición química. Así como ensayos de fluorescencia de rayos X de energía y dispersión, tanto en la ceniza como en la arcilla. Estas pruebas se

realizaron para el suelo arcilloso en su estado natural y en las mezclas de suelo arcilloso - ceniza volante en diferentes proporciones (20%, 40% y 100%). La mezcla del suelo y las cenizas volantes presentó un comportamiento mecánico compatible con los requisitos de un pavimento de bajo volumen de tráfico. Los resultados mostraron que la arcilla mejora su comportamiento y resistencia al ser adicionada una proporción de ceniza volante de 20%, para su empleo como capa de sub-rasante mejorada de pavimentos de alto volumen de tráfico o como un pavimento de bajo volumen de tráfico. El empleo de esta ceniza volante minimiza los problemas de contaminación, al disminuir los vertederos y rellenos sanitarios para la ceniza volante, dando un fin aprovechable a la misma. Esta tesis aporta a la nuestra en gran medida. Utiliza ceniza volante en diferentes porcentajes para mejorar las propiedades mecánicas, físicas y químicas de un suelo arcilloso. Nos muestra paso a paso los ensayos elaborados (Análisis granulométrico por tamizado y por hidrómetro; humedad; límites de Atterberg; ensayo Próctor Modificado; ensayo de capacidad de soporte C.B.R; límites de contracción; gravedad específica; materia orgánica y composición química). Las conclusiones que presenta están justificadas en las pruebas realizadas. A diferencia de nuestro trabajo, la tesis tiene un campo de estudio distinto, el tipo de suelo varía según la localización y el fin es mejorar especialmente suelos destinados a pavimentos. Pero aún con las diferencias es un trabajo muy importante que aporta sustancialmente sobre todo en la metodología a seguir.

2.1.2. TITULO: “EFECTO DE LA CAL COMO ESTABILIZANTE DE UNA SUBRASANTE DE SUELO ARCILLOSO”.

(JARA ANAYPOMA, 2014) Los suelos arcillosos presentes en una subrasante crean problemas debido a su elevada plasticidad, reducida capacidad de soporte e inestabilidad de volumen en función de la humedad, por ello centramos nuestro objetivo en evaluar el efecto de la cal como estabilizante de una subrasante de suelo arcilloso para el mejoramiento de

sus propiedades físicas y mecánicas mediante procedimientos normados. Para la evaluación se trabajó con diferentes porcentajes de cal, 0%, 2%, 4% y 6%, en peso de la muestra de suelo arcilloso a evaluar, tomando estos porcentajes de cal según norma ASTM 6276 y ejecutando los ensayos de acuerdo a procedimientos normados. Los resultados obtenidos de ésta evaluación de estabilización son variaciones muy grandes, en el índice de plasticidad bajo a un valor de 9.23 con la adición de cal al 6% siendo el Índice de plasticidad inicial de 36.87 con la adición de cal al 0%, y una variación considerable en el CBR (capacidad de soporte), logrando alcanzar un valor de 11.48% al adicionarle cal al 4% siendo el CBR con cal al 0% de 2.55. Evaluando los resultados obtenidos, con los diferentes porcentajes de cal, para el tipo de suelo A-7-5(29), se tiene mejores resultados con la adición de 4% de cal con la cual se obtiene el máximo CBR al 95% que es de 11.48%. Esta tesis aporta a la nuestra debido a que hacen uso de la cal, a manera de estabilización tradicional según las normas del MTC. Para ello realizan ensayos demostrando la efectividad de las adiciones en distintos porcentajes. En nuestro caso procedemos de manera similar para la elaboración de las pruebas e interpretación de resultados, pero con la adición de la ceniza volante, debiendo superar nuestros resultados a los obtenidos por este trabajo.

2.1.3. TITULO: “ESTABILIZACION DE UN SUELO ARCILLOSO CON CAL HIDRATADA, PARA SER UTILIZADA COMO CAPA SUBRASANTE DE PAVIEMENTOS EN LA COLONIA DE SAN JUAN CAPISTRANO DE CIUDAD OBREGON”.

(BELTRAN PARRA, 2011) Realizó la determinación del porcentaje óptimo de cal que se le deben agregar al suelo para ser utilizado como capa subrasantes, basado en los métodos establecidos por la secretaria de comunicación de transportes (SCT). Las muestras fueron obtenidas al costado sur del fraccionamiento San Juan Capistrano, localizado al poniente de Cd. Obregón, Sonora. El procedimiento aplicado logro definir las



propiedades de resistencia y plasticidad que adquirió el suelo al ser mezclado con cal el cual consistió en agregar porcentajes de cal de 0% a 8%, en intervalos de 1% a las muestras de suelo. Siguiendo con la normativa de materiales para subrasantes N-CMT-1-03 de la SCT, que exige un valor de CBR del 20% mínimo y una expansión de 2% máximo, se procedió al estudio del material. El suelo se clasificó una arcilla de baja compacidad, arrojando valores relativamente bajos, con un valor de CBR del 2.17% y un porcentaje de expansión del 2.79%. Al no cumplir las especificaciones, se decidió estabilizar el suelo con el método de Eades & Grim (ASTM D-6276), el cual consistió en medir el nivel de PH de las muestras de suelo-cal, determinado el porcentaje óptimo de cal que requirió el suelo analizado para lograr su objetivo. Al realizar la prueba CBR con este porcentaje, se obtuvo un valor CBR del 73.5%, muy por encima del requerimiento mínimo exigido por la SCT. Se optó por realizar una gráfica en relación del valor CBR en base a su porcentaje de cal en peso, con la finalidad de disminuir el porcentaje de cal y apegándose al 20% requerido. Para ello, se elaboraron especímenes de 2%, 4%, 6% y 8% de cal en peso que se compactaron y saturaron para cuantificar las magnitudes de penetración específicas. Al introducir los resultados en la gráfica, se determinó que el suelo requiere de una cantidad de 2.5% de cal en peso para alcanzar el mínimo requerido del 20%. Esta tesis aporta a la nuestra debido a que hacen uso de la cal hidratada para mejorar la capacidad portante de un suelo destinado para infraestructura vial. Muestra a modo de recomendación los porcentajes óptimos a utilizar (valores que nos sirvieron para plantear la hipótesis de cuánto adicionar de cal). Finalmente justifica sus resultados en base a los ensayos, que suponen una valiosa información para interpretar nuestros resultados.

2.1.4. TITULO: “CAPACIDAD PORTANTE (CBR) DE UN SUELO ARCILLOSO, CON LA INCORPORACIÓN DEL ESTABILIZADOR MAXXSEAL 100”.

(PALOMINO TERAN, 2016). La estabilización de suelos es la modificación de cualquiera de sus propiedades, para mejorar su comportamiento ingenieril. Esta tesis evalúa un producto relativamente nuevo en el mercado: Maxxseal 100, el cual es fabricado por una empresa PARTNER y distribuido en el Perú por la empresa ENVIROSEAL LIMA; el estabilizante en mención es a base de co-polímeros de moléculas de alto peso de vinilo acrílico; que se vende como posible mejorador de la estabilidad de los suelos, que según se indica permitirá incrementar la resistencia de un suelo, lo que se demostró a través de la presente investigación. El objetivo de esta tesis fue determinar la capacidad portante (CBR) de un suelo arcilloso con la incorporación de 2, 4 y 6 % del estabilizador Maxxseal 100. Para el desarrollo de este proyecto de investigación primero se procedió a la obtención de la muestra (suelo arcilloso) de un banco de arcilla de la cantera el Cerrillo, distrito Baños del Inca, provincia de Cajamarca, región Cajamarca. Posteriormente se analizó el suelo en el laboratorio de suelos de la Universidad Privada del Norte-Cajamarca, con base en las Normas Técnicas Peruanas. El estudio se centra en un solo tipo de suelo (arcilloso) y las variaciones sufridas en la capacidad portante (CBR) después del uso del aditivo químico en mención. Al concluir la tesis se logró determinar que la capacidad portante (CBR) del suelo limo arcilloso fue de 5.10%, incorporándole el estabilizador Maxxseal 100 en los porcentajes de 2%, 4%, y 6%, se obtuvo los siguientes valores para un CBR a 0.1”, con la muestra patrón un CBR de 5.10%, incorporando el 2% de Maxxseal 100 un CBR de 7%, incorporando el 4% de Maxxseal 100 un CBR de 9.60%, incorporando 6% de Maxxseal 100 un CBR de 11%; para un CBR al 0.2”, con la muestra patrón un CBR de 5.40%, incorporando el 2% de Maxxseal 100 un CBR de 7.30%, incorporando el 4% de Maxxseal

100 un CBR de 10.10%, incorporando 6% de Maxxseal 100 un CBR de 11.70%. Esta tesis aporta significativamente a la nuestra, debido a que presenta un método alternativo al tratamiento de suelos, con la incorporación del estabilizante Maxxseal (aditivo químico). A su vez indica dosificaciones óptimas para lograr el cometido. Mejorando las propiedades mecánicas del mismo, haciendo enfoque en la capacidad portante. Si bien es cierto el lugar de estudio no es el mismo que el nuestro, pero el aporte es sustancial a modo de guía en muchos de los ensayos.

2.1.5. TITULO: “UTILIZACIÓN DE BOLSAS DE POLIETILENO PARA EL MEJORAMIENTO DE SUELO A NIVEL DE LA SUBRASANTE EN EL JR. AREQUIPA, PROGRESIVA KM 0+000 - KM 0+100, DISTRITO DE ORCOTUNA, CONCEPCIÓN”.

(LEIVA GONZALES, 2016). Las bolsas de polietileno generan un impacto negativo en la contaminación ambiental la cual se trata de reutilizar reciclando y dándole un uso en mejoramiento de la subrasante. El objetivo de la investigación es determinar el efecto de las bolsas de polietileno en el suelo a nivel de la subrasante del Jr. Arequipa de la progresiva KM 0+000 - KM 0+100 y en el medio ambiente del distrito de Orcotuna – Concepción. Se realizaron tres calicatas en la carretera Jr. Arequipa de la progresiva KM 0+000 - KM 0+100 del distrito de Orcotuna – Concepción, para obtener muestras representativas para los ensayos de suelo, lo cual se hicieron en la Facultad de Ingeniería Civil. También se realizaron ensayos químicos en la Facultad de Ingeniería Química. La subrasante analizada se dividió en dos tramos según características físicas y mecánicas, el primer tramo presenta un suelo arcilloso de baja plasticidad, el segundo presenta un suelo grava arcilloso, el primer tramo de la progresiva KM 0+000 - KM 0+100 presenta baja capacidad portante con un CBR al 95% de M.D.S. igual a 4.145% por lo tanto se tiene dos alternativas mejorar o cambiar el suelo de la subrasante. El segundo tramo de la progresiva KM 0+100 - KM 0+230 presenta un CBR

al 95% de M.D.S. igual a 12.5% por lo tanto no requiere mejoramiento. Según el MTC (2013) “Manual de Carreteras: suelos, geología, geotecnia y pavimentos” de los 8 tipos de estabilizadores que recomienda sólo uno se adapta a las características físicas y mecánicas del suelo y es estabilización suelo – cal. Para poder determinar la dosificación adecuada de bolsas de polietileno fundido se tuvo que realizar ensayos de CBR y así poder encontrar una dosificación óptima en porcentaje, para lo cual se realizaron 45 ensayos de CBR, variando el porcentaje con respecto al peso seco del suelo. Utilizando bolsas de polietileno fundido como agente estabilizador se concluye que pueden ser utilizados en subrasante para mejorar sus propiedades físicas, mecánicas recomendándose como el más óptimo al 6% con respecto al peso seco del suelo, El CBR del suelo arcilloso es 4.145% al 95% de la máxima densidad seca y con la adición de bolsas de polietileno fundido en forma de grumos en una dosificación de 6% del peso seco del suelo incrementó el CBR (California Bearing Ratio) a 7.98% al 95% de la máxima densidad seca. Esta tesis aporta a nuestro trabajo pues dirige sus esfuerzos a mejorar la capacidad portante de un suelo del distrito de Orcotuna, Concepción. Destinado a obras de infraestructura vial, haciendo uso de materiales reciclables, que de por sí poseen un alto impacto negativo en el medio ambiente (en nuestro caso la ceniza volante). Presentan también los procesos empleados y los ensayos que demostraron la efectividad del empleo de bolsas de polietileno en las propiedades mecánicas del suelo.

2.1.6. TITULO: “MEJORAMIENTO DE LA CAPACIDAD PORTANTE DEL SUELO PLANIFICANDO GEOTEXILES Y GEOMALLAS PARA CIMENTACIONES EN ZONAS DE BAJA RESISTENCIA”.

(SANTIN GUERRERO, 2014). La presente investigación evalúa los procedimientos de diseño de cimentaciones reforzadas mediante geotextiles, inicialmente en forma manual, y seguidamente utilizado un software basado en matrices de rigidez mediante elementos finitos como el PLAXIS módulo

3D FOUNDATION. El procedimiento empleado para el mejoramiento de la capacidad portante del suelo en zonas de baja resistencia en el diseño de cimentaciones actualmente se encamina por el USC de materiales innovadores como los geotextiles y geomallas. Para determinar la contribución en resistencia y serviciabilidad de los materiales de refuerzo se efectuó una serie de interacciones en el software de diseño PLAXIS FOUNDATION, sin considerar la presencia de geotextiles o geomallas y considerando los mismo para la evaluación y conclusiones finales. Esta tesis aporta a nuestro trabajo en la medida que se enfoca en el mejoramiento de suelos destinados a cimentaciones, en el supuesto caso se utilice geotextiles y geomallas. Además, realizan un estudio geotécnico utilizando el método matemático de elementos finitos.

2.2. BASES TEORICAS

2.2.1. SUELO

“Suelo es una delgada capa sobre la corteza terrestre de material que proviene de la desintegración y/o alteración física y/o química de las rocas y de los residuos de las actividades de los seres humanos” (Crespo, 2004).

Según Badillo, 2008, en ingeniería civil todas las obras se apoyan sobre el suelo de una u otra forma, y muchas de ellas, utilizan la tierra como elemento de construcción para terraplenes, diques y rellenos en general; por lo que, en consecuencia, su estabilidad y comportamiento funcional y estético estarán determinados. El suelo se comporta como una estructura más, con características físicas propias: densidad, porosidad, talud natural, cohesión y ángulo de fricción interna, que le confieren ciertas propiedades resistentes ante diversas sollicitaciones: compresión, cizalla, reflejadas en magnitudes como la tensión admisible o los asentamientos máximos y diferenciales.

2.2.2 PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DEL SUELO

El conocimiento de las principales propiedades de los suelos es de vital importancia, pues mediante su correcta interpretación se puede predecir el futuro comportamiento del terreno bajo cargas (Crespo, 2004). Se informó que las propiedades más relevantes al momento de realizar algún tipo de estabilización son la estabilidad volumétrica, la resistencia, permeabilidad y compresibilidad. Al elegir algún tipo de producto para mejorar las características del suelo los estudios se deben concentrar en verificar si mejora alguna de estas propiedades. (SANTIN GUERRERO, 2014)

RESISTENCIA

La resistencia mecánica es el factor principal del suelo y de la roca que se usan en las presas, altos terraplenes y subrasantes; depende de la naturaleza del material del suelo, la humedad y la relación de vacíos. Al aplicar algún tratamiento se deben estudiar los efectos que éste pueda ocasionar en el suelo, ya que, si el suelo permanecerá húmedo en las condiciones de trabajo, entonces la determinación de la resistencia bajo estas circunstancias sería la adecuada; pero si el suelo permanecerá seco, es aconsejable realizar pruebas con cargas repetidas para estudiar algunos efectos como pulverización y disgregación. En los suelos finos tiene una gran importancia la energía de compactación, principalmente cuando se emplean humedades superiores a la óptima, debido a la diferente estructuración que adoptan las arcillas al ser compactadas mediante procedimientos de compactación diferentes (George B y George F, 1976). Para mejorar esta propiedad se suele usar la estabilización mecánica (compactación). Algunas formas de estabilización más usadas para lograr una mayor resistencia son: compactación, estabilización mecánica con mezclas de otros suelos y estabilización química con cemento, cal u otros aditivos. (PALOMINO TERAN, 2016).

2.2.3 CAL

Iniciaremos por indicar que para el tratamiento de suelos se puede utilizar cal viva (óxido de calcio – CaO), cal hidratada (hidróxido de calcio – $\text{Ca}[\text{OH}]_2$) o una lechada de cal. La cal viva se produce de la transformación química del carbonato de calcio (piedra caliza – CaCO_3) en óxido de calcio. La cal hidratada se obtiene cuando la cal viva reacciona químicamente con el agua. La cal hidratada (hidróxido de calcio) es la que reacciona con las partículas arcillosas y las transforma permanentemente en un fuerte matriz cementante. La cal más utilizada para el tratamiento de suelos es la cal alta en calcio, que contiene un máximo de 5% de óxido o hidróxido de magnesio. Sin embargo, en algunas ocasiones se utiliza cal dolomítica. La cal dolomítica contiene de 35 a 46% de óxido o hidróxido de magnesio. Con la cal dolomítica se puede lograr la estabilización, aunque la fracción de magnesio reacciona más lentamente que la fracción de calcio. Algunas veces el término “cal” se utiliza para referirse a la cal agrícola que, por lo general, es piedra caliza finamente molida, un útil correctivo agrícola que no tiene la suficiente reactividad química para lograr la estabilización del suelo. Otras veces el término “cal” es utilizado para referirse a los subproductos del proceso de fabricación de cal (como el polvo de horno de cal), que, aunque contienen alguna cal reactiva, generalmente sólo posee una fracción del óxido o el contenido de hidróxido del producto fabricado. En este manual, "cal" significa cal viva, cal hidratada, o la lechada de cal hidratada.

2.2.4 CENIZAS VOLANTES

Se define a la ceniza volante mediante la norma ASTM C593-95 como el residuo finamente dividido que resulta de la combustión de carbón en polvo que es transportado desde la caldera por los gases de combustión. Las características físicas y químicas de las cenizas volantes varían gradualmente dependiendo del método de combustión y forma de las

partículas de las cenizas volantes. De acuerdo con el significado, los carbones procedentes de fuentes diferentes producen diferentes características de combustión y estas diferencias influyen en la eficacia de la ceniza volante como un estabilizador de suelo. Estas diferentes fuentes se pueden clasificar en carbón sub-bituminoso, bituminoso y de antracita. Cada uno de ellos tiene diferentes propiedades basadas en el contenido de carbón, la dureza y la edad geológica.

Este apartado de la norma ASTM C593-95 contiene información básica relacionada con la composición de la ceniza volante, va a ayudar a ilustrar el rango de valores de las propiedades que este material puede tener. Dos de las principales tecnologías basadas para la generación de energía son: carbón pulverizado (PC), y combustión de fondo fluido (FBC). La tecnología del PC es el método más popular y se refiere a cualquier proceso de combustión que utiliza el carbón molido muy fino en el proceso. En este tipo de sistema, el carbón se procesa mediante la molienda a una consistencia muy fina para la combustión y la ceniza es formada en la cámara de combustión, mientras sucede la combustión carbón, (PALOMINO TERAN, 2016)

Este proceso resulta en 65% a 85% de cenizas volantes, mientras que el resto de material es de cenizas de fondo y escorias en la caldera. La tecnología FBC utiliza una caldera de carbón en donde se lleva a cabo la combustión de carbón, mediante la mezcla de carbón con un absorbente como la piedra caliza (CaCO_3), dolomita o material de fondo. Es un método de combustión de bajo costo para la obtención de la energía sobre todo a partir del carbón con alto contenido de azufre en una forma ambientalmente aceptable. La mezcla de material combustible y el fondo se vuelven fluido durante el proceso de combustión para permitir la combustión completa y la eliminación del gas azufre. En este proceso el azufre en el carbón sale como

dióxido de azufre (SO₂) y se convierte en sulfato cálcico (CaSO₄) Anthony et al., 2003.



a. Clasificación de Ceniza Volante

De acuerdo con la norma ASTM C618 (American Society for Testing and Materials - Especificación normalizada para Ceniza Volante de Carbón y Puzolana Natural en Crudo o Calcinada para Uso en Concreto), las cenizas volantes se pueden clasificar en **dos** tipos principales: la clase C de ceniza volante y la clase F. Esta clasificación depende principalmente de los porcentajes de sílice (SiO₂), alúmina (Al₂O₃), y óxido férrico (Fe₂O₃).

Las cenizas volantes de clase C se produce normalmente de lignito o por la combustión del carbón sub-bituminoso. Este tipo de ceniza volante tiene propiedades cementantes y puzolánicas. El término cementante significa que el material se endurece en presencia del agua y el término puzolánico significa que, en presencia de agua, las cenizas volantes reaccionan con el hidróxido de calcio a temperaturas ordinarias, para producir también compuestos de cemento. Las cenizas volantes clase F se produce a partir de la combustión del carbón de antracita o bituminoso y se considera que solo tienen propiedades puzolánicas.

Composición Química		Clase	
		F	C
SiO ₂ + Al ₂ O ₃ +Fe ₂ O ₃	Min %	70	50
SO ₃	Max %	5	5
Contenido de Humedad	Max %	3	3
Pérdida por Ignición	Max %	6	6

Tabla 1: Requerimientos Químicos de Ceniza Volante de acuerdo a ASTM C 618

Estas dos clases de cenizas volantes (C y F) se consideran los tipos más comunes de ceniza volante. Sin embargo, como se mencionó antes, los materiales de ceniza volante tienen una amplia gama de propiedades y características que dependen de factores tales como tipo de carbón, proceso de combustión, aditivos, entre otros. Muchas cenizas volantes no pueden caer dentro de estas dos categorías.

b. Propiedades de la Ceniza Volante

De acuerdo con M.C. Alonso et al. (1995) las cenizas volantes presentan las siguientes propiedades:

1. Capacidad reactiva, lo que las hace aptas para múltiples aplicaciones. Otra de sus propiedades es la puzolánica e hidráulica, aunque se necesita de un período más o menos largo de tiempo para que se manifieste su reactividad puzolánica.
2. Las cenizas volantes aumentan la trabajabilidad del material en estado plástico, debido a un aumento en la dispersión de las partículas del sistema.
3. Las cenizas volantes en los morteros disminuyen las expansiones asociadas a la reacción árido-álcalis, disminuyendo la pérdida por durabilidad.
4. El contenido de agua libre (que no reacciona con el cemento) es mayor en presencia de cenizas volantes a primeras edades, y por lo tanto la porosidad del sistema también será mayor. Sin embargo, dado que las cenizas volantes aumentan la trabajabilidad, es posible reducir la relación agua / cemento, contrarrestando la mayor porosidad.
5. Las resistencias mecánicas al utilizar cenizas volantes serán menores en las primeras edades, comparadas con las alcanzadas en cementos

Portland. Las cenizas actúan como un diluyente inerte, durante el tiempo de incubación de la reacción puzolánica. A edades largas se produce un refinamiento de la estructura porosa debido a la evolución de la actividad puzolánica.

6. Las cenizas volantes reducen el calor de hidratación en el cemento debido al menor contenido de alita (C3S) procedente del clínker Portland. Este compuesto es el responsable en su mayor parte del calor desprendido durante la hidratación del cemento Portland. La reacción puzolánica también es exotérmica, pero su desprendimiento es progresivo en el tiempo.
7. Las cenizas volantes incorporadas al cemento mejoran su durabilidad en determinados ambientes sulfatados y de agua de mar. Esto se debe a una mayor impermeabilidad y a la reducción en el contenido de portlandita (SC3). Esto último, inhibe la formación de etringita expansiva. El aumento en la impermeabilidad se debe a que los productos formados durante la actividad puzolánica se depositan en el interior de los poros capilares interconectados, dificultando la penetración de los iones sulfato y cloruro. Este subproducto industrial posee muchas ventajas para ser empleado en la construcción. Al tener un alto volumen de producción garantiza los volúmenes de suministro que se requieren en este sector; se constituye, además, en un material con una 35 reactividad tal que en determinadas condiciones puede comportarse de manera similar como lo hace un cemento Portland y al presentarse en estado pulverulento, hace innecesario cualquier tipo de transformación previa a su uso, constituyéndose además en una materia prima viable económicamente Criado et al. (2006). Las cenizas volantes permiten que la industria del concreto utilice grandes cantidades de este material cementante suplementario con el fin de reducir el consumo de cemento Portland por unidad de volumen de hormigón Fernández C.y Vásquez (2008b).

2.2.5 GENERALIDADES DE LAS ESTABILIZACIONES

Según la normativa peruana la estabilización agrupa a un concepto general que considera el mejoramiento de las propiedades físicas y/o mecánicas de un suelo a través de procedimientos mecánicos y/o físicoquímicos. Se puede decir que la estabilización es el proceso mediante el cual se someten los suelos naturales a cierta manipulación o tratamiento para corregir alguna deficiencia o alterar sus propiedades físicas o mecánicas, de modo que se incremente o mejore un suelo, capaz de soportar los efectos del tránsito y las condiciones de clima más severas dándole estabilidad en cualquier condición de tiempo y servicio (JARA ANAYPOMA, 2014)

La estabilización de suelos consiste en dotar a los mismos, de resistencia mecánica y permanencia de tales propiedades en el tiempo. Las técnicas son variadas y van desde la adición de otro suelo, a la incorporación de uno o más agentes estabilizantes. Cualquiera sea el mecanismo de estabilización, es seguido de un proceso de compactación (MINISTERIO DE TRANSPORTE Y COMUNICACIONES, 2014)

2.2.6 MÉTODOS DE ESTABILIZACIÓN DE SUELOS

Existen cuatro tipos de estabilización en los suelos, los cuales son (JARA ANAYPOMA, 2014)

a. Estabilización física

Este método se utiliza para mejorar el suelo produciendo cambios físicos en el mismo, sin que se produzcan reacciones químicas de importancia. Hay varios métodos como lo son:

- Estabilización por compactación.
- Estabilización empleando la mezcla de suelos.

b. Estabilización química

Se refiere principalmente a la utilización de ciertas sustancias químicas patentizadas y cuyo uso involucra la sustitución de iones metálicos y cambios en la constitución de los suelos involucrados en el proceso. Hay varios métodos como lo son:

- Cal. Utilizada generalmente para disminuir la plasticidad y consecuentemente también los cambios volumétricos de un material arcilloso, la forma de más uso es cal hidratada, óxidos o hidróxidos. Es técnicamente muy sencilla y bastante económica.

La cal es uno de los distintos productos que se pueden usar con éxito en la mejora de las características técnicas de los suelos. Hay muchos factores que influyen en el comportamiento de un sistema suelo-cal. Los principales factores son las diferencias en la gradación del suelo.

- Cemento Portland. Utilizado generalmente para suelos arenosos o gravas finas, la mayor ventaja es el incremento de la resistencia, también se puede usar para suelos arcillosos, pero implica mayor porcentaje de este.

- Cloruro de sodio o de calcio (sales). Para arcillas y limos, ayudan en la compactación, impermeabilizan, disminuyen los polvos, benefician la resistencia del suelo y el comportamiento de estos ante la congelación, más sin embargo como la sal es muy soluble es considerada como muy poco durable.

- Polímeros y Resinas. Son cadenas muy largas de moléculas formadas por unión de componentes orgánicos, a los que se denomina monómeros.

-

c. Estabilización eléctrica

Se refiere principalmente a la utilización de ciertos procesos fisicoquímicos.

- Electrostática. Denominada también como electroósmosis, consiste en aplicar al suelo, combinadamente, una corriente eléctrica que origina una serie de fenómenos de naturaleza fisicoquímicos y la acción de dispositivos de bombeo. Técnica utilizada en la estabilización de suelos blandos.

d. Estabilización térmica.

Se refiere a la utilización de procesos donde se ve involucrado el calor, el cual transforma cualquier arcilla en un ladrillo resistente.

- Por calentamiento.
- Por enfriamiento.

2.2.7 DESCRIPCIÓN Y COMPARACIÓN DE PROCEDIMIENTOS DE CONSTRUCCIÓN

a. Visión general de la construcción

- Como la cal puede ser utilizada para tratar suelos de distintos tipos, el primer paso en la evaluación de las opciones de tratamiento del suelo es identificar claramente el objetivo. Los pasos en la construcción implicados en la estabilización y en la modificación, son similares. Generalmente, la estabilización requiere más cal y más tratamiento y control, que la modificación. Los pasos básicos incluyen:

- Escarificar o pulverizar parcialmente el suelo
- Esparcir la cal
- Adición de agua y mezcla

- Compactar a la densidad máxima práctica
 - Curado antes de la colocación de la siguiente capa o capa de protección.
- Cuando se realiza la mezcla en planta (fuera del sitio del proyecto) en lugar de la mezcla en el lugar de trabajo, ya sea en la estabilización o en la modificación, sólo se aplican tres de los pasos mencionados: esparcir la mezcla cal-agregado-agua, la compactación y el curado.

2.2.8 VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LOS DIFERENTES MÉTODOS DE APLICACIÓN DE CAL

La técnica de estabilización con cal utilizada en un proyecto debería estar basada en múltiples consideraciones, tales como la experiencia del contratista, la disponibilidad de equipo, la ubicación del proyecto (rural o urbano) y la disponibilidad de una fuente cercana y adecuada de agua. Algunas ventajas y desventajas de los diferentes métodos de aplicación de cal son los siguientes:

▪ Cal hidratada en polvo:

Ventajas: Puede ser aplicada más rápidamente que la lechada. La cal hidratada en polvo puede ser utilizada para secar arcillas, pero no es tan eficaz como la cal viva.

Desventajas: Las partículas hidratadas de cal son finas. De modo que el polvo puede ser un problema y este tipo de uso generalmente es inadecuado en áreas pobladas.

▪ Cal viva en seco:

Ventajas: Económica porque la cal viva es una forma más concentrada de cal que la cal hidratada, conteniendo de 20 a 24 por ciento más de

óxido de calcio "disponible". Así, aproximadamente 3 por ciento de cal viva es equivalente a 4 por ciento de cal hidratada, cuando las condiciones permiten la hidratación completa de la cal viva con suficiente humedad. Debido a su mayor densidad requiere de menos instalaciones de almacenaje. Page 11 El tiempo de ejecución puede ampliarse debido a que la reacción exotérmica causada por el agua y la cal viva puede calentar el suelo. La cal viva seca es excelente para secar suelos mojados. Tamaños de partícula más grandes pueden reducir la generación de polvo.

Desventajas: La cal viva requiere 32 por ciento de su peso en agua para convertirse en cal hidratada y puede haber pérdida adicional por la evaporación significativa debido al calor de hidratación. Se debe tener cuidado con el empleo de la cal viva para asegurar una adecuada adición de agua, fraguado y mezcla. Estos mayores requerimientos de agua pueden plantear un problema de logística o costos en áreas remotas sin una fuente cercana de agua. La cal viva puede requerir más mezcla que la cal hidratada seca o que las lechadas de cal, porque las partículas de cal viva, que son más grandes, primero deben reaccionar con el agua para formar la cal hidratada y luego debe ser mezclada con el suelo.

▪ **Lechada de cal:**

Ventajas: Aplicación libre de polvo. Es más fácil lograr la distribución. Se aprovecha la aplicación por rociado. Se requiere menos agua adicional para la mezcla final.

Desventajas: Velocidad lenta de aplicación. Costos más altos debido al equipo extra requerido. Puede no ser práctico en suelos muy mojados. No es práctico para secar.

VENTAJAS DE USAR CÁSCARA DE MANI

La cascara de maní es desechada a grandes escalas, por ser un producto común en los arenales de la campiña de Moche, Ya que las personas no conocen el uso que se les puede dar a su cascara y los productos que se pueden elaborar entorno a ella; La cual podría ser reutilizada muy útil para la construcción.

PROPIEDADES:

- Humedad 9.3
- Proteína cruda 6.4
- Grasa 1.6
- Fibra cruda 65.9
- Ceniza 3.1
- Proteína 10.8

VENTAJAS:

- Baratos
- Tienen mayor resistencia mecánica
- Son más aislantes, tanto del frío como el calor
- No tienen impacto ambiental a su fabricación
- Su fabricación requiere menos energía
- Son materiales reciclados.

2.2.9 MECANISMO DE LA REACCIÓN ENTRE LA CAL Y LAS CENIZAS VOLANTES

Mezclas de Cal-Puzolanas para Suelos con cantidades bajas de arcilla
La cal por sí misma puede reaccionar con suelos que contienen tan poca arcilla como 7% e Índices de Plasticidad tan bajos como 10. Si el suelo no es suficientemente reactivo, la cal puede ser combinada con una fuente adicional de sílice y alúmina. Tales puzolanas incluyen

la ceniza volante y la escoria de alto horno. El sílice y alúmina adicional de las puzolanas reaccionan con la cal para formar el fuerte matriz cementante que caracteriza a una capa estabilizada con cal. Las mezclas correctamente proporcionadas de cal y puzolanas pueden modificar o estabilizar casi cualquier suelo, pero comúnmente se usan para suelos con plasticidad de baja a media. La ceniza volante es la puzolana más comúnmente usada. Esta es el residuo fino que es resultado de la combustión de carbón pulverizado en calderas de centrales eléctricas, que es transportado de la cámara de combustión a la chimenea de los gases. El empleo de ceniza o polvo de horno de cal (LKD por sus siglas en inglés) es una alternativa cada vez más popular. El LKD es el residuo fino que resulta de la combustión de carbón y el tratamiento de caliza en un horno, para procesar la piedra en cal y que es removido de los gases de escape del horno. El LKD por lo general contiene una cantidad significativa de cal, aluminio y silicio -es en esencia una premezcla de puzolana y cal-. La cantidad de cal, silicio y aluminio en el LKD varía, principalmente dependiendo de la caliza, el combustible y el tipo de operaciones del horno usadas durante el proceso de fabricación de cal.

Se cree que cuando se mezclan la cal y las cenizas volantes con el suelo, una parte de la cal se combinan con las partículas del suelo, otra parte con el óxido de carbono presente en el suelo-aire y el suelo-agua y otra parte con las cenizas volantes en una acción puzolánica. (JARA ANAYPOMA, 2014)

La cal reacciona con los minerales de la arcilla en un suelo de dos maneras. Una, iónica por naturaleza es una reacción compleja en la cual el exceso de cationes de calcio, proporcionado por la cal, causa, por su acción de saturación sobre las partículas de arcilla, una floculación del suelo y también un intercambio de calcio con otros

caciones en la estructura de la arcilla. Por esta reacción la plasticidad disminuye, la facilidad para manipular el suelo mejora mucho, y los cambios de volumen debidos a la humedad son menos importantes. La otra reacción que toma lugar cuando el suelo está compactado es puzolánica por naturaleza. Minerales de cuarzo, del tamaño del limo fino, además de minerales de arcilla, toman muy probablemente parte de esta reacción.

2.2.10 ENSAYOS EN SUELO DE FUNDACIÓN

a. CONTENIDO DE HUMEDAD

La humedad o contenido de humedad de un suelo es la relación, expresada como porcentaje, del peso del agua en una masa dada de suelo, al peso de las partículas sólidas, según la norma (MTC, 2000).

b. GRANULOMETRÍA

Representa la distribución de los tamaños que posee el agregado mediante el tamizado según especificaciones técnicas (Ensayo MTC EM 107). A partir de la cual se puede estimar, con mayor o menor aproximación, las demás propiedades que pudieran interesar. El análisis granulométrico de un suelo tiene por finalidad determinar la proporción de sus diferentes elementos constituyentes, clasificados en función de su tamaño (MTC, 2013).

Tabla 1: Clasificación de los suelos según tamaños de partículas

Tipo de Material	Tamaño de partículas	
Grava	75 mm - 4.75 mm	
Arena	Arena gruesa: 4.75 mm - 2.00 mm	
	Arena media: 2.00 mm - 0.425 mm	
	Arena fina: 0.425 mm - 0.075 mm	
Material Fino	Limo	0.075 mm - 0.005 mm
	Arcilla	Menor a 0.005 mm

Fuente: Ministerio de Transporte y Comunicaciones, 2013

Este ensayo (NLT-104) no es otra que determinar las proporciones de los distintos tamaños de grano existente en el mismo, o dicho de otro modo, su granulometría. El tamiz es la herramienta fundamental para efectuar este ensayo; se trata de un instrumento compuesto por un marco rígido al que se halla sujeta una malla caracterizada por un espaciado uniforme entre hilos denominado abertura o luz de malla, a través del cual se hace pasar la muestra de suelo a analizar. Se emplea una serie normalizada de tamices de malla cuadrada y abertura decreciente, a través de los cuales se hace pasar una determinada cantidad de suelo seco, quedando retenida en cada tamiz la parte de suelo cuyas partículas tengan un tamaño superior a la abertura de dicho tamiz. Existen diversas series normalizadas de tamices, aunque las más empleadas son la UNE 7050 española y la ASTM D-2487/69 americana.

Para determinar la fracción fina de suelo-limos y arcillas- no es posible efectuar el tamizado, por lo que se empleará el método de sedimentación, se procede a pesar las cantidades retenidas en cada uno de los tamices, construyéndose una gráfica semilogarítmica donde se

representa el porcentaje en peso de muestra retenida (o el que pasa) para cada abertura de tamiz. (Bañon, L. 2000, p.6)

Interpretación de los resultados La interpretación de una curva granulométrica puede proporcionarnos información acerca del comportamiento del suelo. Si estudiamos la regularidad de la curva podremos diferenciar dos tipos de granulometría (Bañon, L. 2000, p.7).

• **Granulometría discontinua:**

La curva presenta picos y tramos planos, que indican que varios tamices sucesivos no retienen material, lo que evidencia que la variación de tamaños es escasa. En este caso, se habla de suelos mal graduados, la arena de playa es un claro ejemplo de este tipo de suelo (Bañon, L. 2000, p.7).

• **Granulometría continúa:**

La práctica totalidad de los tamices retienen materia, por lo que la curva adopta una disposición suave y continua. A este tipo de suelos se les denomina bien graduados. Las zahorras se engloban dentro de este grupo (Bañon, L. 2000, p.7).

De cara a determinar numéricamente la graduación de un suelo se emplea el coeficiente de curvatura, definido por la siguiente expresión:

$$Cc = \frac{D_{30}^2}{D_{60} * D_{10}}$$

Donde Dx es la abertura del tamiz o diámetro efectivo (mm) por donde pasa el x% en peso de la totalidad de la muestra de suelo analizada.

Otro parámetro muy empleado para dar idea de uniformidad de un suelo es el llamado coeficiente de uniformidad, definido por Hazen como la relación entre las aberturas de tamices por donde pasan el 60% y el 10% en peso de la totalidad de la muestra analizada:

$$Cu = \frac{D_{60}}{D_{10}}$$

Según este coeficiente, un suelo que arroje valores inferiores a 2 se considera muy uniforme, mientras que un coeficiente inferior a 5 define un suelo uniforme.

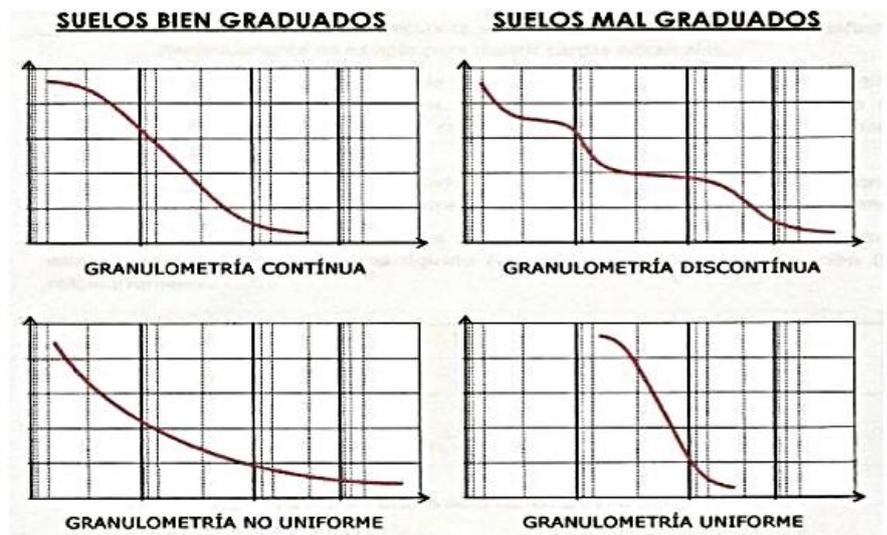


Figura 1. Fuente: Bañon Blázquez, 2000

2.2.11 LÍMITES DE CONSISTENCIA DEL SUELO

Un suelo arcilloso se mezcla con una cantidad excesiva de agua, éste puede fluir como semilíquido, Si el suelo es secado gradualmente, se comportará como un material plástico, semisólido o sólido, dependiendo de su contenido de agua. Este, en por ciento, con el que el suelo cambia de un estado líquido a un plástico se define como

límite líquido (LL). Igualmente, los contenidos de agua, en por ciento, con el que el suelo cambia de un estado plástico a un semisólido y de un semisólido a un sólido se definen como el Límite plástico (PL) y el límite de contracción (SL), respectivamente (Braja, D. 1999, p.15).

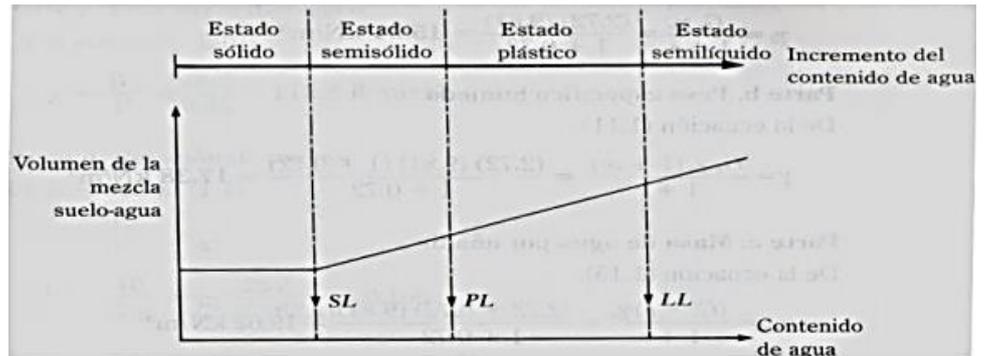


Figura 2: Definición de los Límites de Atterberg. Fuente: Braja, 1999

- Límite líquido: se determina mediante la Copa de Casagrande (D-4318 ASTM) y se define como el contenido de agua con el cual se cierra una ranura de 1/2in (12.7mm), mediante 25 golpes.
- Límite Plástico: Se define como el contenido de agua con el cual el suelo se agrieta al formarse un rollito de 1/2" (3.18mm) de diámetro (D-4318 ASTM).
- Límite de contracción: Contenido de agua con el cual el suelo no sufre ningún cambio adicional de volumen con la pérdida de agua (D-427 ASTM).
- Índice de Plasticidad: La diferencia entre límite líquido y el plástico de un suelo se define como índice de plasticidad (PI).

$$PI = LL - LP$$

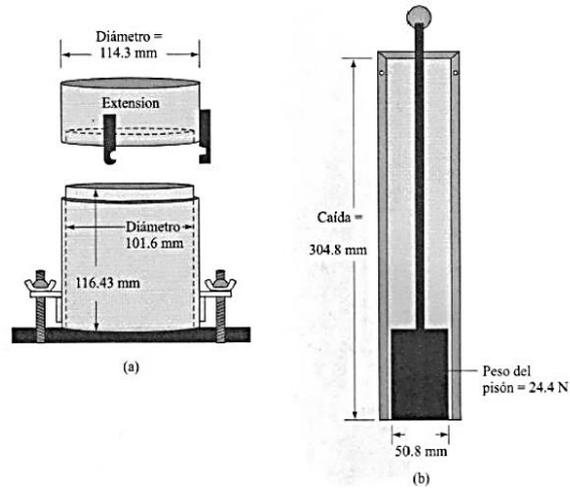
2.2.12 COMPACTACION

La compactación es el proceso artificial/mecánico, por el cual se pretende obtener mejores características en los suelos que constituyen la sección estructural de las 21 carreteras, de tal manera que la obra resulte duradera y cumpla con el objetivo por el cual fue proyectada.

Este proceso implica la reducción de vacíos por pérdida de aire, conduciendo a cambios de volumen de importancia; no todo el aire sale del suelo y por lo general, no se expulsa agua por lo que la condición de un suelo compactado en carretas es la de un suelo parcialmente saturado. (JARA ANAYPOMA, 2014)

- Prueba Proctor estándar

En la prueba Proctor, el suelo es compactado en un molde que tiene un volumen de 943.3 cm³. El diámetro del molde es de 101.6mm. Durante la prueba de laboratorio, el molde se une a una placa de base en el fondo y a una extensión en la parte superior (figura 11 a) El suelo se mezcla con cantidades variables de agua y luego se compacta en tres capas iguales por medio de un pisón que transmite 25 golpes a cada capa. El pisón pesa 24.4 N y tiene una altura de caída de 304.8mm.



Fuente: Braja, 1999. Figura YYY: Equipo de la prueba Proctor estándar: (a) molde; (b) pisón

Tabla 2: Especificaciones para la prueba Proctor estándar

Concepto	Método A	Método B	Método C
Diámetro del molde	101.6 mm	101.6 mm	152.4 mm
Volumen del molde	943.3 cm ³	943.3 cm ³	2124 cm ³
Peso del pisón	24.4 N	24.4 N	24.4 N
Altura de caída del pisón	304.8 mm	304.8 mm	304.8 mm
Número de golpes del pisón por capa de suelo	25	25	56
Número de capas de compactación	3	3	3
Energía de compactación Suelo por usarse	591.3 KN-m/m ³ Porción que pasa la malla N°4 (4.57mm). Se usa si 20% o menos por peso de material es retenido en la malla N°4.	591.3 KN-m/m ³ Porción que pasa la malla de 9.5mm. Se usa si el suelo retenido en la malla N°4 es más del 20%, y 20% o menos por peso es retenido en la malla de 9.5 mm.	591.3 KN-m/m ³ Porción que pasa la malla de 19 mm. Se usa si más de 20% por peso del material es retenido en la malla de 9.5 mm, y menos de 30% por peso es retenido en la malla de 19 mm.

Fuente: 698-91 de la ASTM

- Prueba Proctor modificado

Con el desarrollo de rodillos pesados y su uso en la compactación de campo, la Prueba Proctor Estándar fue modificada para representar mejor las condiciones de campo. A ésta se llama prueba Proctor modificada (Prueba D-1557 de la ASTM y Prueba T-180 de la AASHTO). Para llevar a cabo la prueba Proctor modificada se usa el mismo molde, con un volumen de 943.3cm³, como en el caso de la prueba Proctor estándar. Sin embargo, el suelo compactado en cinco capas por un pisón que pesa 44.5 N. la caída del martillo desde 457.2 mm. El número de golpes de martillo por capa es de 25 como en el caso de la prueba Proctor estándar. La energía de compactación por volumen unitario de suelo en la prueba modificada se calcula

$$E = \frac{(25 \text{ golpes capa})(5 \text{ capas})(44.5 \times 10^{-3} \text{ xKn})(0.4572 \text{ m})}{943.3 \times 10^{-6}}$$

$$= 2696 \text{ KN} - \text{m/m}^3$$

Debido a que incrementa el esfuerzo de compactación, la prueba Proctor modificada resulta en un incremento del peso específico seco máximo del suelo.

Concepto	Método A	Método B	Método C
Diámetro del molde	101.6 mm	101.6 mm	152.4 mm
Volumen del molde	943.3 cm ³	943.3 cm ³	2124 cm ³
Peso del pisón	44.5 N	44.5 N	44.5 N
Altura de caída del pisón	457.2 mm	457.2 mm	457.2 mm
Número de golpes del pisón por capa de suelo	25	25	56
Número de capas de compactación	5	5	5
Energía de compactación Suelo por usarse	2696 KN-m/m ³ Porción que pasa la malla N°4 (4.75mm). Se usa si 20% o menos por peso de material es retenido en la malla N°4.	2696 KN-m/m ³ Porción que pasa la malla de 9.5mm. Se usa si el suelo retenido en la malla N°4 es más del 20%, y 20% o menos por peso es retenido en la malla de 9.5 mm.	2696 KN-m/m ³ Porción que pasa la malla de 19 mm. Se usa si más de 20% por peso del material es retenido en la malla de 9.5 mm, y menos de 30% por peso es retenido en la malla de 19 mm.

Tabla 3: Especificaciones para la prueba Proctor Modificado

Fuente: 1557-91 de la ASTM

2.2.13 CORTE DIRECTO

Este método describe procedimientos para determinar la resistencia al corte consolidado drenado de un suelo en corte directo. El ensayo puede ser conducido en corte simple o corte doble. La prueba de corte directo es adecuada para un ensayo consolidado drenado porque las trayectorias de drenaje a través del espécimen de ensayo son cortas, permitiendo por esto que los excesos de las presiones de poro sean disipados bastante rápidamente. El ensayo puede ser hecho sobre todo tipo de suelos y sobre muestras inalteradas o remoldadas.

Los resultados del ensayo son aplicables a situaciones de campo donde la consolidación completa ha ocurrido bajo la sobrecarga existente, y la falla es alcanzada lentamente de modo tal que los excesos de presiones de poro son disipados. El ensayo también es útil para determinar la resistencia al corte a lo largo de planos débiles reconocibles dentro del material de suelo. (JARA ANAYPOMA, 2014)

III. CONCLUSION

- Se redactaron las bases teóricas de la investigación influencia de la adición de la mezcla ceniza volante de cascarilla de maní con cal en las propiedades físicas y mecánicas en el suelo de Buenos Aires distrito de Víctor Larco herrera - Trujillo encontrando toda la información necesaria para realizar dicha investigación.
- Se definió la información correspondiente a las propiedades de los suelos.
- Se revisó la teoría acerca de la ceniza volante conociendo las reacciones que tiene con el suelo.
- Se identificó la teoría necesaria para el conocimiento de la estabilización de suelos como es que el suelo mejora las propiedades a través del uso de adiciones.
- Se investigó correctamente acerca de los ensayos de suelos de fundación conociendo sus respectivos procedimientos.

IV. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS:

- Beltran Parra, j. r. (2011). Estabilizacion de un suelo arcilloso con cal hidratada, para ser utilizada como capa subrasante de pavimentos en la colonia de san juan capistrano de ciudad Obregon, Son. Capristan.
- Jara Anaypoma, r. (2014). Efecto de la cal como estabilizante de una subrasante de suelo arcilloso . Lima.
- Leiva Gonzales, r. (2016). Utilizacion de bolsas de polietileno para el mejoramiento de suelo a nivel de la subrasante en Jr. Arequipa, progresiva km 0+000-km 0+100, distrito de orcotuna concepcion . Orcotuna.
- Morales Zuluaga, d. (2015). Valorizacion de las cenizas de carbon para la estabilizacion de suelos mediante activacion alcalina y su uso en vias no pavimentadas . Colombia.
- Palomino Teran, k. e. (2016). Capacidad portante (cbr) de un suelo arcilloso con la incorporacion del estabilizador maxxseal 100. Lima.
- Perez Collantes , r. d. (2012). Estabilizacion de suelos arcillos con cenizas de carbon para su uso como subrasante mejorada y/o sub base de pavimentos. Lima.
- Santin Guerrero, y. s. (2014). Mejoramiento de la capacidad portante del suelo planificando geotextiles y geomallas para cimentaciones de baja resistencia. Lima.

ANEXO N° 2

MATRIZ DE DATOS

Items	TEMA	AUTOR	FUENTE
1	Estabilizacion de un suelo arcilloso con cal hidratada, para ser utilizada como capa subrasante de pavimentos en la colonia de san juan capistrano de ciudad obregon	Beltran Parra, j. r. (2011).	https://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:QVXSGqYsy8EJ:https://docplayer.es/23676059-Tesis-que-para-obtener-el-titulo-de-ingeniero-civil.html+&cd=1&hl=qu&ct=clnk&gl=pe
2	Efecto de la cal como estabilizante de una subrasante de suelo arcilloso	Jara Anaypoma, r. (2014).	http://repositorio.unc.edu.pe/handle/UNC/686
3	Utilizacion de bolsas de polietileno para el mejoramiento de suelo a nivel de la subrasante en Jr. Arequipa, progresiva km	Leiva Gonzales, r. (2016).	http://repositorio.uncp.edu.pe/handle/U/NCP/1181



	0+000-km 0+100, distrito de orcotuna concepcion . Orcotuna		
4	Valorizacion de las cenizas de carbon para la estabilizacion de suelos mediante activacion alcalina y su uso en vias no pavimentadas .	Morales Zuluaga, d. (2015).	https://repository.udem.edu.co/handle/11407/1236
5	Capacidad portante (cbr) de un suelo arcilloso con la incorporacion del estabilizador maxxseal 100	Palomino Teran, k. e. (2016).	http://repositorio.upn.edu.pe/handle/11537/10489
6	Estabilizacion de suelos arcillos con cenizas de carbon para su uso como subrasante mejorada y/o sub base de pavimentos.	Perez Collantes , r. d. (2012).	http://www.liplata.pe/web/servicios/estabilizacion-quimica
7	Mejoramiento de la capacidad portante del suelo planificando geotextiles y geomallas para cimentaciones de baja resistencia.	Santin Guerrero, y. s. (2014).	http://dspace.utpl.edu.ec/handle/123456789/16628