



FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de Ingeniería Civil

ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE UN AFIRMADO NATURAL Y ESTABILIZADO CON CEMENTO RECICLADO AL 2%, 4% Y 6% PARA BASE, LOS OLIVOS - 2020.

Tesis para optar el título profesional de:

Ingeniero Civil

Autor:

Henry Eloy Quispe Ponce

Asesor:

Mg. Ing. Gonzalo Hugo Díaz García

Lima - Perú

2020

DEDICATORIA

Dedico de manera muy especial a mi madre Angélica Ponce Galiano que puso las bases de Responsabilidad y deseos de superación.

Henry Eloy Quispe Ponce

AGRADECIMIENTO

Agradezco a mis padres y profesores que con sus enseñanzas nos ayudaron a conseguir el objetivo trazado, a todos nuestros compañeros que hicieron de la vida universitaria un lugar muy acogedor.

TABLA DE CONTENIDOS

DEDICATORIA	2
AGRADECIMIENTO	3
TABLA DE CONTENIDOS	4
ÍNDICE DE TABLAS.....	5
ÍNDICE DE FIGURAS	6
ÍNDICE DE ECUACIONES.....	9
RESUMEN.....	10
ABSTRACT.....	12
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN.....	13
1.1. Realidad problemática	13
1.2. Formulación del problema	38
1.3. Objetivos.....	39
1.4. Hipótesis	40
CAPÍTULO II. METODOLOGÍA.....	41
CAPÍTULO III: RESULTADOS	64
CAPÍTULO IV: DISCUSIÓN Y CONCLUSION	75
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	79
ANEXOS	82

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Parque Automotor Nacional estimado según departamento al 2018	14
Tabla 2: Cantidad de muestras de suelo a realizar las pruebas de laboratorio	44
Tabla 3: Tiempos de reposo requeridos para humectar las muestras	53
Tabla 4: Material para Base vs CBR	68
Tabla 5: Valores del contenido de humedad obtenidos por el ensayo del Proctor para material de base.	69
Tabla 6: Valores del contenido de humedad obtenidos por el ensayo del Proctor para material de base con adición de 2% de cemento reciclado	70
Tabla 7: Valores del contenido de humedad obtenidos por el ensayo del Proctor para material de base con adición de 4% de cemento reciclado	71
Tabla 8: Valores del contenido de humedad obtenidos por el ensayo del Proctor para material de base con adición de 6% de cemento reciclado	72
Tabla 9: Comparativos de los valores del contenido de humedad obtenidos por el ensayo del Proctor para grupo de control con grupo experimental.	73

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Incremento del parque automotor	14
Figura 2: Base y Subrasante	23
Figura 3: Cemento reciclado	25
Figura 4: Cuadro de estabilizantes	29
Figura 5: Preparación del material para la estabilización mecánica	31
Figura 6: Efecto de la materia orgánica en los resultados de la estabilización	32
Figura 7: Cuadro de estabilizantes	33
Figura 8: Flujo de operacionalización de variables	42
Figura 9: Matriz de operacionalización de variables	43
Figura 10: Muestra a ensayar	46
Figura 11: Clasificación S.U.C.S.	47
Figura 12: Realizando el ensayo del CBR	49
Figura 13: Dimensiones Molde – Proctor Modificado	51
Figura 14: Martillo para Próctor estándar (abajo) y Próctor modificado (arriba)	52
Figura 15: Patrón para compactación en molde de 4”	54
Figura 16: Próctor Modificado	55
Figura 17: Molde de Próctor	55
Figura 18: Cápsulas de Humedad	56

Figura 19: Ejemplo de Curva de Compactación en el ensayo de Próctor Modificado	57
Figura 20: Mezcla de material con cemento	60
Figura 21: Compactación de material mezclado con cemento	61
Figura 22: Molde extraído del equipo de compactación	62
Figura 23: Ensayo de valor de soporte de california (CBR) para muestra patrón.	64
Figura 24: Ensayo de valor de soporte de california (CBR) para muestra con añadido de 2% de cemento reciclado.	65
Figura 25: Ensayo de valor de soporte de california (CBR) para muestra con añadido de 4% de cemento reciclado.	66
Figura 26: Ensayo de valor de soporte de california (CBR) para muestra con añadido de 6% de cemento reciclado	67
Figura 27: Material para base vs CBR	68
Figura 28: Densidad natural por el método de reemplazo de arena en excavación Para material de base - Método del cono de arena	69
Figura 29: Densidad natural por el método de reemplazo de arena en excavación para material de base con adición de 2% de cemento reciclado- Método del cono de arena	70

Figura 30: Densidad natural por el método de reemplazo de arena en excavación para material de base con adición de 4% de cemento reciclado- Método del cono de arena	71
Figura 31: Densidad natural por el método de reemplazo de arena en excavación para material de base con adición de 6% de cemento reciclado- Método del cono de arena	72
Figura 32: Comparativo material base vs máxima densidad seca PROCTOR	73
Figura 33: Comparativo material base vs óptimo contenido de humedad PROCTOR	74
Figura 34: Comparativo material base vs grado de compactación.	74
Figura 35: Cuarteo de material	74
Figura 36: Materiales colocados en el horno y cálculo del límite líquido.	85
Figura 37: Pesado de materiales y PROCTOR	85

TABLA DE ECUACIONES

Ecuación 1: Para calcular el peso seco del suelo	56
Ecuación 2: Curva de Saturación al 100% de la muestra de suelo	58
Ecuación 3: Para calcular el peso seco del suelo	62
Ecuación 4: Curva de Saturación al 100% de la muestra de suelo	63

RESUMEN

Esta investigación se centra en un objetivo principal, es el de realizar un Análisis comparativo de las propiedades mecánicas para la base entre un suelo normal y un suelo estabilizado con cemento reciclado al 2%, 4% y 6%, Lima Norte 2020.

La metodología aplicada será de tipo descriptiva - comparativa; así también su diseño de investigación cuasiexperimental. Se empleó el cuadro de Operacionalización de variables, se obtuvo como variable independiente “Suelo normal y suelo estabilizado con cemento reciclado al 2%, 4% y 6%” y como variable dependiente “Propiedades mecánicas para la base en los suelos normal y estabilizado con cemento reciclado” las mismas que a través de una ficha técnica de observación determinarán las características de la estructura y composición del producto final.

Las muestras del afirmado a analizar son de 4 muestras para patrón, 4 muestras con cemento reciclado al 2%, 4 muestras con cemento reciclado al 4%, y 4 muestras con cemento reciclado al 6%. Para decidir y/o escoger el porcentaje añadido que mejor ayude a la base es necesario analizar los resultados obtenidos las fichas de los ensayos y métodos realizados : “ Densidad natural por el método de reemplazo de arena en excavación – método del cono de arena” , “ Ensayo de compactación Proctor Modificado para CBR” , “Ensayo de valor de soporte de california (C. B. R.)”; posteriormente con los datos obtenidos se procede a comparar entre ellos para determinar las ventajas y desventajas, además de establecer si las muestras de suelo con cemento reciclado en su composición posee alguna propiedad adicional al del suelo natural.

Palabras clave: Cemento reciclado, Ensayo CBR y Proctor Modificado, Grado de compactación.

ABSTRACT

This research focuses on a main objective, is to perform a comparative analysis of the mechanical properties for the base between a normal soil and a soil stabilized with recycled cement at 2%, 4% and 6%, Lima Norte 2020.

The applied methodology will be descriptive - comparative, so also his quasi-experimental research design. The Operationalization of variables table was used, it was obtained as an independent variable "Normal soil and soil stabilized with recycled cement at 2%, 4% and 6%" and as a dependent variable "Mechanical properties for the base in normal and stabilized soils with recycled cement", which will determine the characteristics of the structure and composition of the final product through a technical observation sheet.

The affirmed samples to be analyzed are 4 samples for the standard, 4 samples with 2% recycled cement, 4 samples with 4% recycled cement, and 4 samples with 6% recycled cement. To decide and / or choose the added percentage that best helps the base, it is necessary to analyze the results obtained from the tests and methods carried out: "Natural density by the sand replacement method in excavation - sand cone method", "CBR Modified Proctor Compaction Test", "California Support Value (CBR) Test".

Subsequently, with the data obtained, a comparison is made between them to determine the advantages and disadvantages, in addition to establishing whether the soil samples with recycled cement in their composition have any additional property to that of natural soil.

Keywords: Recycled cement, CBR test and Modified Proctor, Degree of compaction.

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

1.1. Realidad problemática

En el Perú, hay zonas donde muchas construcciones están expuestas a suelos colapsables, inestables, con incapacidad de carga de suelo para soportar el peso de la estructura, obligando a tener que invertir en estabilizar el suelo y/o colocar cimientos especiales, por lo cual muchas veces, se toman riesgos y se realizan proyectos en zonas cuya capacidad portante del suelo no es apta para la construcción deseada. (Cáceda, 2017)

Uno de los problemas más frecuentes en los sitios, especialmente en la construcción de carreteras, es la presencia de suelos altamente cohesivos. Los suelos arcillosos representan un reto para los ingenieros civiles y geotécnicos de todo el mundo. En el proceso de selección de tipo de estructura de pavimentos (rígidos, flexibles, adoquinados, afirmados, etc.), a utilizar, en una determinada vía depende de diversos factores, como son: el clima, el tráfico, las características del suelo de fundación, la calidad de los materiales y los costos de construcción, mantenimiento y rehabilitación, otros factores, podrían ser la continuidad de una vía, y el desempeño de pavimentos similares en el área (Chang, 2012).

De todos los factores mencionados, “El tráfico es uno de los factores más relevantes en el diseño de pavimento. Su correcta determinación depende de muchos factores que pueden conducir a una estimación inadecuada del mismo” (Menéndez, 2013, p. 252).

Tabla 1

PARQUE VEHICULAR ESTIMADO, SEGÚN DEPARTAMENTO: 2007-2018

(Unidades vehiculares)

DEPARTAMENTO	2007 ^R	2008 ^R	2009	2010	2011	2012	2013 ^R	2014	2015	2016	2017	2018
TOTAL	1 534 303	1 640 970	1 732 834	1 849 690	1 979 865	2 137 837	2 287 875	2 423 696	2 544 133	2 661 719	2 786 101	2 894 327
Amazonas	2 168	2 218	2 292	2 390	2 407	2 400	2 351	2 314	2 275	2 273	2 227	2 182
Ancash	20 354	21 001	21 309	22 086	23 322	25 418	27 542	29 573	31 213	33 542	34 923	36 190
Apurímac	3 916	3 934	3 973	3 969	3 966	4 039	4 083	4 139	4 192	4 216	4 177	4 120
Arequipa	84 829	91 674	98 270	106 521	118 985	134 533	149 892	164 302	176 315	187 929	200 560	211 735
Ayacucho	4 153	5 404	5 572	5 716	5 784	5 941	5 968	6 021	6 022	6 041	6 015	5 918
Cajamarca	11 255	12 383	13 563	15 107	17 320	19 673	21 461	22 664	23 740	24 943	26 224	27 674
Cusco	37 592	39 688	42 175	45 090	48 491	53 675	59 459	64 820	69 213	73 997	79 874	84 942
Huancavelica	1 103	1 216	1 291	1 319	1 317	1 323	1 300	1 315	1 286	1 286	1 259	1 235
Huánuco	10 892	11 255	11 382	11 864	12 576	13 476	14 261	14 911	15 648	16 382	16 915	17 367
Ica	23 170	25 498	25 691	26 135	26 419	26 551	26 398	26 439	26 715	27 092	27 423	27 558
Junín	46 091	47 769	49 404	51 094	53 118	56 237	59 019	61 933	64 576	67 049	69 760	72 316
La Libertad	153 251	155 411	156 646	158 672	162 026	167 325	172 968	178 433	183 931	190 073	196 040	202 558
Lambayeque	39 930	41 920	43 689	45 881	49 440	53 902	58 142	61 896	65 160	68 261	71 328	74 092
Lima y Callao	957 368	1 036 850	1 106 444	1 195 353	1 287 454	1 395 576	1 498 037	1 590 755	1 674 145	1 752 919	1 837 347	1 908 672
Loreto	5 154	5 132	5 089	5 089	5 211	5 313	5 443	5 533	5 501	5 501	5 489	5 477
Madre de Dios	870	913	941	986	1 027	1 062	1 123	1 136	1 161	1 223	1 308	1 383
Moquegua	11 418	12 202	12 692	13 348	14 003	14 608	14 944	14 979	14 931	14 931	14 887	14 810
Pasco	6 075	6 807	7 187	7 351	7 292	7 238	7 108	6 956	6 804	6 804	6 660	6 545
Piura	32 314	33 497	34 650	36 367	39 099	42 404	46 029	49 576	52 390	55 060	57 740	60 006
Puno	28 062	29 889	31 645	34 169	37 074	40 543	43 477	45 056	46 200	47 696	49 387	51 041
San Martín	9 969	9 917	9 977	10 151	10 418	10 926	11 271	11 648	12 047	12 358	12 669	13 052
Tacna	33 944	35 911	38 457	40 465	42 318	44 430	45 960	47 180	48 201	49 382	50 858	52 161
Tumbes	3 042	3 040	3 054	3 086	3 119	3 257	3 320	3 372	3 415	3 451	3 423	3 375
Ucayali	7 383	7 441	7 441	7 481	7 679	7 987	8 319	8 745	9 052	9 310	9 608	9 918

Fuente: Superintendencia Nacional de los Registros Públicos

Elaboración: MTC

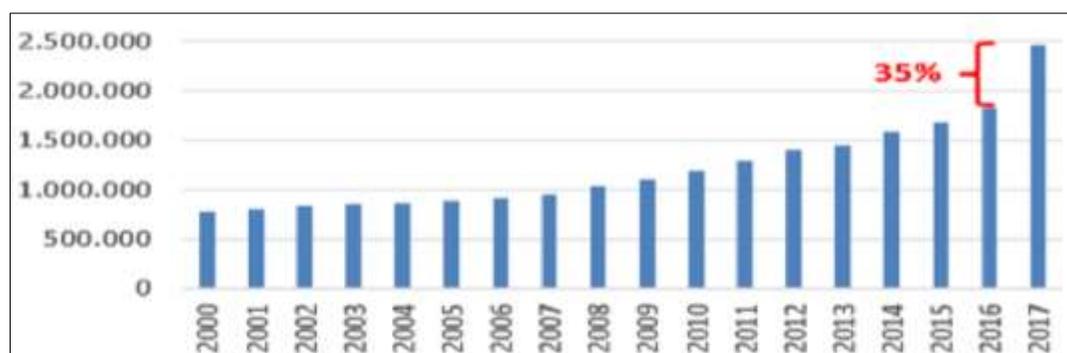


Figura 1. Incremento de Parque automotor en Lima y Callao

Fuente: Datos de la Superintendencia Nacional de los Registros Públicos

Otro factor vendría a ser la calidad de los materiales que componen la estructura del pavimento (componentes estructurales) Según el manual de Carreteras, Suelos Geología, Geotecnia y Pavimentos, sección Suelos y Pavimentos del Ministerio de Transportes y Comunicaciones del Perú (MTC, 2014).

Todos los materiales deberán cumplir los requerimientos del manual de carreteras: Especificaciones Técnicas Generales para Construcción, vigente; no obstante cuando en un determinado proyecto de pavimentación se requiera especificaciones nuevas concordantes en el estudio o que amplíen complementen o reemplacen a las especificaciones generales, el autor del proyecto o el ingeniero responsable de suelos y pavimentos deberá emitir las especificaciones especiales para ese proyecto y solo será aplicable para su ejecución. (p.76)

Una forma de realizar una elección adecuada de pavimentos es utilizando el diseño equivalente de pavimentos, entendiéndose que los diseños equivalentes corresponden un diseño bajo las mismas condiciones de servicio a lo largo de su vida útil (Chang, 2013).

Como se sabe existen diversas formas de mejorar las propiedades de materiales de los componentes estructurales de pavimentos, entre ellas la incorporación de cemento en bases y sub bases, lo que se denomina materiales tratados, según el MTC (2014) “La resistencia del suelo estabilizado con cemento aumenta con el contenido de cemento y la edad de la mezcla” (p. 71). Con lo cual se busca conocer, que efecto tendría la incorporación de suelo cemento en componentes estructurales, para realizar un diseño equivalente de pavimentos rígidos, segmentados y flexibles, y analizarlos económicamente, según. Chang (2013) “los proyectos viales se desarrollan para

condiciones locales muy particulares y se requiere de una evaluación técnico-económica para identificar el tipo de pavimento más conveniente” (p. 63).

La idea del suelo-cemento no es nueva, parece ser que se utilizó por primera vez en 1917 en Inglaterra y a pesar del éxito obtenido no tuvo un desarrollo rápido. En Estados Unidos de Norteamérica se utilizó mucho el suelo-cemento en una gran escala en 1935. Canadá aportaba interesantes informaciones sobre materiales, construcción, conservación y costos constructivos y comportamientos de suelo-cemento. (Betancourt, Bello, 2016)

En América hacia el primer milenio aparecen las primeras viviendas íntegramente de arcilla, aunque las más antiguas que hoy se conservan son de piedras asentadas con arcillas y con revestimiento de este material. En este continente las construcciones con tierra tuvieron su máximo esplendor 200 años antes de la llegada de los españoles con ejemplos notables, como Cachan, Paramonga en Perú, que se aprecian aún hoy en día. (Toirac, 2008).

Los cambios volumétricos que se generen en un suelo arcilloso del tipo expansivo pueden ocasionar graves daños en las estructuras que se apoyen sobre el mismo, por ello, cuando se construya un pavimento sobre este tipo de suelo deberá evitarse las variaciones de humedad, para lo cual habrá que pensar en su impermeabilización o en la aplicación de un proceso de estabilización. Existen zonas en el interior del país donde predominan suelos de naturaleza sedimentaria y depósitos de origen aluvial compuestos de limos y arcillas, que presentan baja capacidad de soporte. A menudo este tipo de suelos que conforman una subrasante, generan problemas en las estructuras de los pavimentos que se construyen,

surgiendo así la necesidad de realizar algún tipo de mejoramiento de la calidad de estos suelos, los cuales algunas veces son onerosos. (Velásquez, 2018)

Existe una técnica de estabilización de suelos con cemento, la cual se ha aplicado en distintas partes del mundo y desde hace buen tiempo atrás. En nuestro país, la estabilización de suelos con cemento se encuentra poco difundida, generalmente se opta por otras opciones de mejoramiento de los suelos de baja calidad que conforman las subrasantes y bases, tales como el reemplazo del suelo o el uso de productos geo sintéticos, por lo que proponemos en esta investigación un análisis comparativo de las propiedades mecánicas para la base entre un suelo normal y un suelo estabilizado con cemento reciclado al 2%, 4% y 6%, siguiendo estándares normativos, de manera que puedan dar mayor eficiencia a dicha estabilización, tanto técnica como económicamente.

Como antecedentes es importante tener en cuenta que:

Según Matute (2016), en su trabajo titulado “COMPARACIÓN TÉCNICO ECONÓMICA DEL USO DE BASES GRANULARES Y BASES ESTABILIZADAS CON CEMENTO, PARA DIVERSOS CASOS DE TRÁFICO, CON Y SIN CAPA DE RODADURA, PARA NUESTRO MEDIO”, para optar el grado académico de Ingeniero Civil de la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil, cuyo tipo de investigación fue experimental, la cual tuvo como problema la calidad del subsuelo en la región de Costa, y cuyo objetivo es economizar mediante la estabilización con cemento el subsuelo de la región de Costa generando beneficios económicos ; concluyó que el empleo de estabilización de cementos quedó económicamente demostrado que es conveniente emplear materiales de la zona de trabajo sin necesidad de importar materiales clasificados

de la zona de trabajo ,sin necesidad de importar materiales clasificados de canteras que encarecen en el transporte; así mismo recomienda el uso de material de la zona estabilizando con cemento. Finalmente, la relevancia es que una base estabilizada con cementos tiene varias ventajas como mayor resistencia y mejor capacidad portante de la estructura del pavimento, también la base es casi impermeable resistente a cambios climáticos además debido a la hidratación del cemento continúa ganando resistencia con la edad.

Por su parte, Benavides (2016) en su investigación titulada “ANÁLISIS COMPARATIVO DE LOS PROCESOS DE ESTABILIZACIÓN DE SUELOS CON ENZIMAS ORGÁNICAS Y SUELOS-CEMENTO, APLICADO A SUELOS ARCILLOSOS DE SUB-RASANTE” para optar el grado académico de ingeniero civil de la Universidad Técnica de Ambato. El tipo de investigación es experimental, la cual tuvo como problema ¿Sería posible estabilizar los suelos arcillosos de subrasante mediante el uso de suelo-cemento y suelos con enzimas orgánicas? ;cuyo objetivo es la estabilización de suelo con enzimas orgánicas y suelo-cemento, aplicado a suelos arcilloso de subrasante concluye que la aplicación del cemento a las muestras de suelo, modifican su contenido de humedad, debido a que este absorbe el agua, lo cual los contenidos óptimos de humedad identificados en el ensayo de Proctor Modificado aumentan de acuerdo al porcentaje de cemento que se adicione a la combinación suelo-cemento, así mismo recomienda que para la ejecución de los ensayos correspondientes, prever que el suelo extraído se encuentre totalmente seco para no alterar el contenido de humedad obtenido mediante el ensayo de Proctor Modificado, y no alterar los valores de CBR; la relevancia de la tesis que la adición

de enzimas orgánicas y cemento son adiciones económicas, la cual mejora las características del suelo natural.

Según Gavilanes, (2015) En su libro de tesis “ESTABILIZACIÓN Y MEJORAMIENTO DE SUB-RASANTE MEDIANTE CAL Y CEMENTO PARA UNA OBRA VIAL EN EL SECTOR DE SANTOS PAMBA BARRIO COLINAS DEL SUR” para optar el grado académico de Ingeniero Civil de la Universidad internacional del Ecuador. El tipo de investigación es de laboratorio y campo la cual tuvo como problema del alto nivel de humedad que existen en algunas carreteras o vías de la ciudad en este caso del sector de Santos Pamba en el barrio Colinas del Sur, cuyo objetivo es analizar y evaluar las propiedades físicas y mecánicas de la modificación y estabilización de suelo en el sector de Santos Pamba en el barrio Colinas del Sur empleando adiciones de cal y cemento en diferentes porcentajes para determinar estabilización de plasticidad del material de subrasante en la vía; según la tesis concluye que empleando cemento para estabilizar el suelo es ventajoso, ya que al dimensionar la estructura de rodadura, se logra disminuir el espesor de la estructura de rodadura ya sea hormigón rígido o asfalto, en relación a su estado natural; así mismo recomienda la estabilización de los suelos de subrasante con los conglomerantes más adecuados, que resulten más adecuados para llegar al estudio detallado del suelo a estabilizar. Finalmente, la relevancia de la tesis, que existe una reducción significativa del índice de Plasticidad con el incremento del porcentaje de cemento; provocando un ligero aumento del límite de Plasticidad y decrecimiento del límite Líquido, así como también los suelos tratados con cemento incrementan su capacidad soportante a valores mayores a los que especifica la normativa para mejoramiento de la subrasante.

De acuerdo a Salas (2017) , en su trabajo titulado “ESTABILIZACIÓN DE SUELOS CON ADICIÓN DE CEMENTO Y ADITIVO TERRASIL PARA EL MEJORAMIENTO DE LA BASE DEL KM 11+000 AL KM 9+000 DE LA CARRETERA PUNO – TIQUILLACA – MAÑAZO” PARA OPTAR EL GRADO ACADÉMICO DE INGENIERO CIVIL DE LA UNIVERSIDAD ANDINA “NESTOR CÁCERES VELASQUEZ”, concluye que los cementos portland ASTM P y el aditivo terrasil, son buenos para ser empleados como agentes estabilizadores de suelo, en los que da buenos resultados. En lo que respecta al cemento con la adición del 4% ha dado valores óptimos a los recomendados por el MTC; y en el caso del aditivo terrasil con la adición de 10 gr. a cada kilogramo de suelo dio resultados también mayores a lo sugerido por el MTC; recomiendan que en los procesos de estabilización con cemento, será necesario efectuar el estudio económico; puesto que los procedimientos de estabilización de suelo deben ser lo menos costoso posible, que utilizar suelos de buena calidad con alto costo de transporte así mismo en la selección de cemento y/o aditivos es bueno tomar en cuenta los resultados obtenidos en obras similares efectuados en estabilización de suelos en su región.

Finalmente, la relevancia de esta tesis es que la adición del cemento con el 4% y el terrasil con 10 gr, se llega a grados óptimos como lo sugiere el MTC. En los procesos de estabilización con cemento, será necesario efectuar el estudio económico; puesto que los procedimientos de estabilización de suelo deben ser lo menos costoso posible, que utilizar suelos de buena calidad con alto costo de transporte.

Por su parte Chura & Romero (2017) En su libro de tesis “ESTABILIZACIÓN DE SUELOS COHESIVOS MEDIANTE EL USO DE GEOMALLAS, GEOTEXTIL, CAL Y

CEMENTO CON FINES DE PAVIMENTACIÓN EN EL TRAMO DE ACCESO DEL KM 00+000 AL KM 00+750 DEL CAMPUS UNIVERSITARIO UPEU JULIACA” para optar el grado académico de ingeniero civil de la Universidad Peruana Unión. El tipo de investigación de tipo cuantitativo, la cual tuvo como problema ¿Sería posible estabilizar los suelos cohesivos mediante el uso de geomallas, geotextil, cal y cemento con fines de pavimentación, en el tramo de acceso del km 00+000 al km 00+750 del campus universitario UPeU Juliaca ;cuyo objetivo es estabilizar los suelos cohesivos mediante el uso de geomallas, geotextil, cal y cemento con fines de pavimentación en el tramo de acceso del km 00+000 al km 00+750 del campus universitario UPeU Juliaca; según la tesis concluye que el uso de cal y cemento como material estabilizador y también el uso de refuerzos como el Geomallas y Geotextil, mejora el diseño de pavimento disminuyendo los espesores de la estructura del pavimento diseñado con el método MTC- 2014; así mismo recomienda que para lograr el mayor beneficio de estabilización y a la vez reducir costos es importante hallar el óptimo porcentaje del material estabilizador, soportadas por un diseño o como mínimo que cumplan con una especificación que garantice su supervivencia de vida útil proyectada de la estructura del pavimento; la relevancia de la tesis es que en los suelos cohesivos la estabilización óptima de cemento es a 4%, llevando a reducir espesores de diseño del pavimento de 15.38% de capa base y de capa sub base de un 20% hasta 36%.

Según Ayala & Gallardo (2015) En su libro de tesis “ESTABILIZACIÓN DE LA BASE DE UN PAVIMENTO RÍGIDO CON CEMENTO PORTLAND UTILIZANDO LAS CANTERAS EL GAVILÁN, DON LUCHO Y EL RÍO CHONTA, CAJAMARCA, 2015” para optar el título profesional de Ingeniero Civil, de la Universidad Privada del Norte. El tipo de investigación es experimental, la cual tuvo como problema ¿Cuál es la

influencia del cemento Portland en la estabilización de la base de un pavimento rígido utilizando los agregados para material de base de las canteras El Gavilán, don Lucho y el río Chonta, Cajamarca, 2015? ; cuyo objetivo es estabilizar la base de un pavimento rígido con cemento Portland utilizando agregados provenientes de las canteras El Gavilán, don Lucho y el río Chonta; según la tesis concluye que la estabilización para la base de un pavimento rígido con cemento Portland utilizando los agregados provenientes de las canteras El Gavilán, don Lucho y el río Chonta, se incrementa la capacidad de soporte en la medida que se adiciona cemento Portland desde un 7% hasta un 167% (combinación de canteras El Gavilán (27%) y el río Chonta (73%)) y desde un 5% hasta un 154% (combinación de canteras don Lucho (24%) y el río Chonta (76%)); así mismo recomiendan ampliar la investigación utilizando otro tipo de aglomerante con estos agregados para verificar en que porcentaje aumenta su capacidad de soporte y realizar ensayos con porcentajes menores al 2% de cemento (0,5%; 1% y 1,5%), para verificar desde que porcentaje de adición de cemento hay un aumento considerable de la capacidad de soporte.

La relevancia de esta tesis es que a mayor adición de cemento Portland mayor es la capacidad de soporte de la base del pavimento rígido.

Para tener un mejor entendimiento de lo que se busca en esta investigación mencionaremos **algunos conceptos** relacionados con la estabilización de suelos:

Suelo es la capa superficial de la corteza terrestre considerada la parte biológicamente activa. Suelo proviene del latín solum que significa tierra o parcela. El suelo es un recurso natural esencial para la vida y para la producción de otros recursos. (Instituto Cartográfico y Geológico de Catalunya, 2019)

Las **bases y sub-bases** son capas de material pétreo adecuadamente seleccionadas para traspasar las cargas de la carpeta de rodadura a la sub-rasante (Infraestructura). Puesto que los esfuerzos en un pavimento decrecen con la profundidad, la ubicación de estos materiales dentro de la estructura de un pavimento (superestructura), está dada por las propiedades mecánicas de cada una de ellas. **-SUBRASANTE.** (Mendoza, M. & Guadarrá, J., 2008, pág. 21)

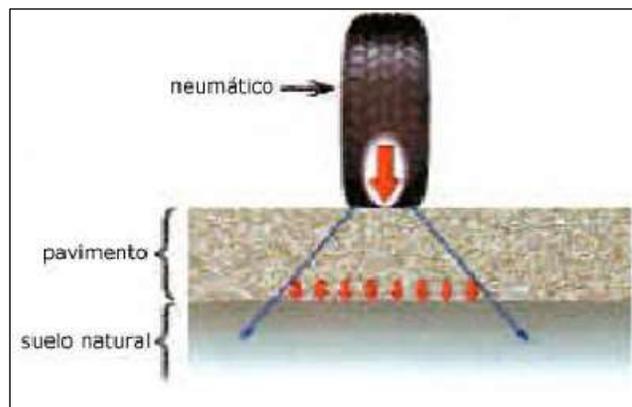


Figura 2. Base y subbase.

Fuente: Mendoza, M. & Guadarrá, J., 2008.

El ensayo **CBR (California Bearing Ratio: Ensayo de Relación de Soporte de California)** mide la resistencia al esfuerzo cortante de un suelo y para poder evaluar la calidad del terreno para subrasante, sub base y base de pavimentos. Se efectúa bajo condiciones controladas de humedad y densidad. (Ramírez, V. e Hincapié, J., 2018, pág.30)

Densidad Máxima Compactada Seca, corresponde a la mayor densidad que puede alcanzar un suelo al ser compactado a la humedad óptima. (Cárdenas, P., 2008, pág. 14)

Óptimo Contenido de Humedad, es el contenido de agua al cual el suelo puede ser compactado al máximo peso unitario seco usando el esfuerzo de compactación modificada. (ASTM D-1557, MTC E 115-2000)

El **grado de compactación** es expresado por el porcentaje en referencia al ensayo Proctor.

El **reciclaje de cemento** es un método muy común en países donde la cultura del reciclaje es más avanzada, ya que se ha demostrado los beneficios de esta actividad, sobre todo para la prevención del medioambiente, asimismo por el ahorro económico que se puede obtener.

El de cemento que se ha recolectado por distintos motivos: demolición, exceso de vaciado, enfriamiento y afines, es introducido en una moledora, filtrando los materiales ajenos a este, asimismo, cuando se trata de ladrillos y/o bloques de cemento se colocan en una trituradora de mandíbula y de allí a la moledora.

El cemento es uno de los materiales con mayor aporte a la ingeniería civil, sobre todo en la construcción dado que este permite aprovechar su característica de aglomerado en el momento que se le añade agua, endureciéndose en el tiempo.



Figura 3. Cemento reciclado.
Fuente: Structuralia.

Es importante que “el **agua** no debe tener un alto contenido de materia orgánica, sulfatos u otras sales perjudiciales con la reacción agua-cemento, contaminantes externos, etc” (Rico Rodríguez & Del Castillo, 2012).

Asimismo, el **agua** a utilizar en la estabilización tendrá que ser calculada según con los parámetros de densidad y contenido de humedad de la mezcla suelo-cemento, por tanto: “la cantidad óptima de cemento a utilizar a fin de que la mezcla presente las características deseadas, el agua de mezcla que permitirá la compactación de la mezcla y la correcta hidratación del cemento y los parámetros de compactación” (Rico Rodríguez & Del Castillo, 2012).

Cuando se trata de **mejoramiento de suelo** es necesario comprender que el mejoramiento no es una medida de corrección, sino que debe pensarse que se deberá prevenir para las condiciones extremas y adversas que pueda presentarse en la estructura de

la obra civil. Por otra parte, es necesario saber que cada método es aplicable solo a un grupo limitado de materiales, desafortunadamente existen estratos de suelo que presentan una gran variabilidad de materiales en unos cuantos metros de profundidad y con relación a la extensión del área que se está analizando. Por lo tanto, los sistemas de estabilización muchas veces no son aplicables para la gran variabilidad del suelo. Entre las principales propiedades que son de suma importancia para el ingeniero constructor tenemos resistencia mecánica, durabilidad, estabilidad volumétrica, compresibilidad y permeabilidad del suelo.

- *Estabilidad volumétrica*

Se refiere a los problemas que tienen lugar los suelos cuando tienen cambios de humedad especialmente en suelos expansivos, viene relacionado con variaciones estacionales por el clima del lugar. La estabilización de suelos ofrece una alternativa para mejorar el comportamiento de este tipo de suelo para que favorezca a la obra civil.

- *Resistencia*

Los métodos de estabilización ofrecen mejoramiento de la resistencia en varios tipos de suelos. Sin embargo, en suelos que existe gran cantidad de materia orgánica la resistencia de los suelos es muy baja y los efectos de estabilización son diferentes que en suelos que no presentan mucha materia orgánica.

- *Permeabilidad*

No es muy difícil modificar el suelo con métodos como la compactación o como la inyección que modifica considerablemente la permeabilidad del suelo. Es posible implementar emulsiones que modifican la permeabilidad del suelo, pero existen cambios

en la resistencia que no favorecen al comportamiento del suelo como la resistencia al esfuerzo cortante en el suelo.

En general sin tomar en cuenta los métodos mecánicos para estabilizar el suelo, los métodos para variar la permeabilidad del suelo no tienen mucha relación con los cambios volumétricos del suelo o la resistencia del mismo. (Rico Rodríguez & Del Castillo, 2012)

- Compresibilidad

La compresibilidad del suelo viene dada por la capacidad del suelo o material para contraer su volumen. La compactación es una manera muy utilizada para modificar la compresibilidad del suelo.

- Durabilidad

Para comprender los factores que intervienen en esta propiedad del material o suelo conviene tomar en cuenta la resistencia que tiene el material al intemperismo, a la desintegración o erosión. La mayoría de los estabilizantes usados para modificar esta propiedad del material son agentes químicos que modifican los enlaces entre las partículas del material, obteniendo materiales más resistentes contra los factores antes mencionados. Entre los estabilizantes más usados están el cemento, la cal, asfalto, entre otros.

La **estabilización de suelos** consiste en: (...) el **suelo modificado con cemento** es una mezcla íntima de suelo pulverizado, cemento y agua no endurecida o semi endurecida. La cantidad de cemento para lograr una **modificación del suelo** suele medirse por los cambios de sus propiedades físicas (...) o en algunas otras características como durabilidad, impermeabilizada, etc. El suelo-cemento en cambio, es **el material**

endurecido que se obtiene curando una mezcla íntima de suelo pulverizado, cemento y agua **compactada antes** de la hidratación del cemento (Villareal Guijarro, 1980).

La estabilización de suelos mediante la adición de cemento es un método que según algunos autores inició en 1917 en Estados Unidos e Inglaterra, donde se patentó el primer procedimiento de mejoramiento y estabilización de suelos mediante la mezcla de cemento en proporciones variables (Rico Rodríguez & Del Castillo, 2012).

Como todo tipo de estabilización de suelos, lo que se busca al añadir proporciones de cemento a un tipo de suelo es el mejorar sus características físicas y/o mecánicas según el uso que se le va a dar, como son la conformación de terraplenes, capas de la estructura de vías terrestres, mejoramiento de cimentaciones de estructuras, etc. El proceso al cual es sometido el material tratado con cemento intervienen reacciones que actúan básicamente con los silicatos del material produciendo conglomerados que se unen con las diferentes partículas del suelo ya sean gravas, arenas o material fino. (Larrea & Villalba, 2000)



Figura 4 Estabilización de suelo con cemento

Fuente: (Quintero, 2017)

En la **estabilización de suelos**, es importante saber que a finales del siglo XX se realizaron intervenciones de agentes como la cal para un mejoramiento del suelo ya que su efectivo comportamiento con algunos tipos de suelos permitieron realizar obras como vías y carreteras, sin embargo mucho más antigua es el uso de la cal como ligante para realizar un empaste que a su vez es usado para realizar objetos como una máscara hallada en Jericó que data de aproximadamente 7000 A.C. incluso en la misma área se halla vestigios de pavimentos a base de cal y conformados por material fino. (wordpress.com, 2015)

Con el tiempo las propiedades de este tipo de material motivaron a investigadores para la producción de morteros para la construcción de obras civiles. En el año 1940 el desarrollo de la cal como estabilizante para suelos expansivos fue determinante ya que el comportamiento de la cal produjo un mejoramiento en las propiedades de este tipo de

suelos, luego aparecieron otros métodos para el desarrollo de la estabilización de suelos.
(Gómez, 2005)

En las obras de ingeniería es importante reconocer el grado de incidencia que tiene cada parte estructural y su funcionalidad en el proyecto, podemos decir que una de las partes funcionales que tienen gran importancia en la estructura constituye la parte estructural que comunica los esfuerzos de la estructura con el suelo, por esto es necesario analizar qué parámetros nos ofrece el material en el cual se apoyará la estructura de la obra civil.

Según el análisis del material en el cual se apoyará la estructura se puede implementar diferentes tipos de sistemas que varían su costo, incrementándose el mismo cuando el material de apoyo no favorece a la estabilidad de la estructura, caso contrario la solución al sistema estructural será menos costosa y en muchos casos simple. En ciertos proyectos se prefiere reemplazar el suelo o modificarlo para que mejore sus propiedades químicas y físicas.

De esta manera, podemos decir que estabilización es modificar o alterar las propiedades del suelo existente, de tal manera que se obtenga un material que cumpla con los requisitos estructurales requeridos. Dependiendo el tipo de suelo, se puede implementar un tratamiento que nos permita obtener un material requerido.

La mayoría de las estabilizaciones o mejoramientos son realizados en carreteras para mejorar la capacidad del suelo para disipar las cargas del tráfico vehicular.



Figura 5. Estabilización con cemento
Fuente: Construcción Latino Americana (CLA)

Dentro de los tipos de **estabilización de suelos**, se puede apreciar que en la siguiente tabla se puede apreciar el cambio de la resistencia del suelo aplicando estabilizaciones con cemento y cal. En la tabla se puede apreciar que en suelos arcillosos orgánicos con un contenido de materia orgánica de más del 10% tiene poco aumento de su resistencia en relación con suelos que tienen contenido orgánico por debajo del 10%.

Tipo de suelo	Prof. m	Contenido de materia orgánica %	Resistencia a la compresión simple a los 7 días (Especímenes compactados al 95% AASHTO estándar)		
			kg/cm ²		
			Sin estabilizar	Con 10% de cimento	Con 10% de cal
Tierra vegetal	0.45	2.65	3.80	15.50	1.90
Tierra vegetal	1.60	0.22	3.80	36.00	47.00
Arcilla orgánica	0.10	13.70	1.05	1.83	2.25
Arcilla orgánica	0.60	2.50	6.30	20.00	1.83
Arcilla orgánica	0.10	11.70	3.15	7.00	5.60
Arcilla orgánica	0.45	2.00	5.00	20.00	16.20
Arcilla orgánica	0.10	10.30	3.90	4.20	4.90
Arcilla orgánica	0.80	2.40	5.00	41.00	26.80
Tierra superficial	0.10	3.10	3.90	30.00	11.20
Tierra superficial	0.45	1.10	5.00	42.00	22.50

*Figura 6. Efecto de la materia orgánica en los resultados de la estabilización
Fuente: (Jurado & Clavijo, 2016)*

De acuerdo con lo mencionado anteriormente, podemos decir que el contenido orgánico afecta de manera considerable al aumento de la resistencia de un suelo estabilizado con cemento o cal. Los métodos más comunes para elevar la resistencia de un suelo son compactación, vibro flotación, precarga, drenaje, estabilización mecánica con mezclas de otros suelos y estabilización química con cemento, cal o aditivos líquidos. (Rico Rodríguez & Del Castillo, 2012).

En el siguiente cuadro podemos observar los componentes del material determinantes y su posible estabilización. (Larrea & Villalba, 2000)

Componente típico del suelo	Estabilización recomendada	Finalidad
Materia orgánica	Estabilización mecánica	Los otros métodos son inefectivos
Arenas	Mezcla con materiales finos y no plásticos	Estabilidad mecánica
	Cemento	Mayor resistencia
	Asfalto	Mayor cohesión
Iilita	Cemento	Más resistencia a corto plazo
	Cal	Más trabajabilidad y resistencia
Limos	Indiferentes a los métodos conocidos	
Montmorilonita	Cal	Para mejorar trabajabilidad y adquirir resistencia a corto plazo

Figura 7: Cuadro de estabilizantes

Fuente: (Jurado & Clavijo, 2016)

De acuerdo con lo que se desea mejorar se establece los posibles mejoramientos, sin embargo, es necesario conocer el tipo de material que se quiere mejorar, por ende, la clasificación de dicho material es imprescindible para de acuerdo a la necesidad y el tipo de suelo se realice un supuesto diseño de mejoramiento con algún tipo de método que se disponga. (Larrea & Villalba, 2000)

A fin de obtener resultados óptimos y que permitan alcanzar el objetivo de **estabilizar un suelo** de características físicas y mecánicas muy pobres es importante determinar un **procedimiento** que abarque todas las variables a intervenir tanto en las etapas de estudios y construcción de este, a fin de que el criterio final que se adopte responda a la realidad del proyecto en cuestión.

Dicho esto, podemos separar en dos etapas principales que se describen a continuación que previo a seleccionar un estabilizante es necesario conocer las

características iniciales que presenta un suelo y valorar si necesita un mejoramiento, determinando que tipo de mejoramiento se le debe dar. Esto se logra mediante ensayos de clasificación del suelo, límites de consistencia (Límites de Atterberg), contenido de humedad, contenido orgánico (es muy importante cuando se quiere utilizar cemento como material estabilizante), granulometría del suelo, de contener arcillas expansivas es recomendable realizar ensayos de potencial de hinchamiento, etc. entre otros, hecho esto se determina el tipo de estabilizante que respondería a los criterios de técnica y economía en la estabilización del suelo en estudio, por lo general los parámetros que permiten determinar esto son el índice plástico, la granulometría y la clasificación del suelo (SUCS o AASHTO).

En esta etapa es conveniente realizar ensayos que permitan determinar las características mecánicas de la mezcla, tales como ensayos de compactación Proctor Modificado donde se obtiene la curva de compactación y sus parámetros fundamentales: contenido de humedad óptimo y densidad seca máxima. Es fundamental determinar el comportamiento de esta curva con relación a la curva del suelo en estado natural, además que se recomienda utilizar varios porcentajes de estabilizante (en nuestro caso de cemento tipo 1).

Con los parámetros de compactación definidos se procede a determinar la resistencia que el suelo-cemento presenta, tanto a la compresión simple, así como también confinada, los cuales permitirán determinar el contenido óptimo de cemento a utilizar.

Se puede realizar el ensayo de durabilidad de la mezcla de suelo-cemento ante la acción de ciclos de mojado-secado para conocer cómo se comportará la mezcla al someterse al

intemperismo de la zona donde se pretende construir con este material, este parámetro también será de importancia cuando se pretenda construir en lugares con climas lluviosos.

Al final de todo esto se realiza un análisis técnico y económico que permita determinar un contenido no sólo que cumpla con la normativa técnica e ingenieril vigente, sino que responda a la economía y pueda ser factible su aplicación en campo.

Finalmente, se deberá contar con los siguientes parámetros antes de la ejecución de la obra:

- Características físicas del suelo: granulometría, límites de consistencia, contenido orgánico, etc.
- Parámetros de compactación de la mezcla de suelo-cemento para el contenido óptimo de cemento.
- El grado de compactación que se recomienda en campo dependerá de la obra que se pretende construir y que indica la normativa vigente, por lo general no es menor al 95% de la densidad seca máxima obtenida en el ensayo de compactación.
- El tipo de cemento a utilizar, para esta investigación se planteó el uso de un cemento portland tipo 1, de moderado calor de hidratación proporcionado por la empresa cementera SOL y que se utiliza ampliamente para la estabilización suelos para bases en vías.
- Plazos de ejecución y entrega de la obra, deberán ser compatibles con el clima presente en la zona y cambios previsibles de estación seca a lluviosa o viceversa.

La presente investigación tiene como **justificación** el propósito de aportar información conceptual nutrida y consistente acerca del Análisis comparativo de las

propiedades mecánicas para la base entre un suelo normal y un suelo estabilizado con cemento reciclado al 2%, 4% y 6% Los Olivos 2020, ya que el parque automotor se ve sustancialmente en aumento en las vías de nuestro país obligando a que durante la construcción de nuevas y/o readecuación de las existentes se realice de manera óptima para una adecuada circulación del tránsito, potenciando el comercio interno, turismo, así como desarrollo social y cultural.

La conformación de un pavimento efectivo depende fundamentalmente del suelo en el que se lo realice, es así que nace el desarrollo de la investigación de la estabilización de suelo con cemento reciclado aplicado a una base, especialmente en suelos de Los Olivos, los cuales regularmente presentan propiedades físico-mecánicas deficientes.

En ciertas ocasiones es imprescindible optimizar las propiedades y características de los suelos, para que conformen capas idóneas para el sustento de las vías.

Los resultados que se obtengan de este estudio contribuirán con información importante para la realización de investigaciones posteriores con respecto al análisis comparativo de las propiedades mecánicas para la base entre un suelo normal y un suelo estabilizado con cemento reciclado.

La presente investigación tiene como **limitaciones** el uso de materiales reciclados para la estabilización de suelos, dado que no es muy usual en Perú debido, a que conlleva a un estudio previo para que cumpla los requisitos mínimos de calidad de la especificación vial pertinente. Es por tal motivo que se hace necesaria su investigación. El suelo estabilizado con cemento es un material en que se producen grietas de retracción, las cuales pueden reflejar en las capas bituminosas superiores, para ello es necesario hacer uso del

cemento adecuado y/o técnicas de prefisuración. Se debe de hacer uso de un cemento adecuado antes de construir con suelos de mediana a alta plasticidad ya que el mezclado sería difícil. El tiempo para el mezclado suelo estabilizado con cemento está limitado por el fraguado del cemento.

Limitación del estudio

La investigación se ha realizado bajo estos limitantes: las diferencias a nivel de propiedades extraídas del CBR y Proctor, asimismo, es importante considerar que una limitante para el uso de cemento reciclado es que se puede utilizar una proporción máxima de 20% de agregado de concreto reciclado dado que posterior a esto, son alteradas las propiedades en resistencia producto de la absorción.

1.2. Formulación del problema

¿De qué manera se puede mejorar el CBR, máxima densidad seca, óptimo contenido de humedad y grado de compactación del afirmado para base de un suelo natural en Los Olivos 2020?

1.2.1. Problemas específicos.

1.2.1.1. Problema específico 1

¿De qué manera se puede mejorar el CBR del afirmado para la base de un suelo normal en Los Olivos 2020?

1.2.1.2. Problema específico 2

¿De qué manera se puede mejorar la máxima densidad seca y el óptimo contenido de humedad del afirmado para la base entre un suelo natural en Los Olivos 2020?

1.2.1.3. Problema específico 3

¿De qué manera se puede mejorar el grado de compactación del afirmado para la base de un suelo natural en Los Olivos 2020?

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo general

Determinar el análisis comparativo del CBR, máxima densidad seca, óptimo contenido de humedad y grado de compactación del afirmado para la base entre un suelo natural y un suelo estabilizado con cemento reciclado al 2%, 4% y 6%. Los Olivos 2020.

1.3.2. Objetivos específicos

1.3.2.1. Objetivo específico 1

Realizar el análisis comparativo del CBR para evaluar la capacidad portante del afirmado para la base entre un suelo natural y un suelo estabilizado con cemento reciclado al 2%, 4% y 6%. Los Olivos 2020.

1.3.2.2. Objetivo específico 2

Realizar el análisis comparativo de la máxima densidad seca y el óptimo contenido de humedad del afirmado para la base, entre un suelo natural y un suelo estabilizado con cemento reciclado al 2%, 4% y 6%. Los Olivos 2020.

1.3.2.3. Objetivo específico 3

Realizar el análisis comparativo del grado de compactación para saber el porcentaje de densidad máxima para el afirmado base entre un suelo natural y un suelo estabilizado con cemento reciclado al 2%, 4% y 6%. Los Olivos 2020.

1.4. Hipótesis

1.4.1. Hipótesis general

El análisis comparativo del CBR, máxima densidad seca, óptimo contenido de humedad y grado de compactación del afirmado para base entre un suelo natural y un suelo estabilizado con cemento reciclado al 2%, 4% y 6% permitió identificar la mejor alternativa.

1.4.2. Hipótesis específicas

1.4.2.1. Hipótesis específica 1

El CBR del afirmado para base de un suelo estabilizado con cemento reciclado es más eficiente que el de un suelo natural.

1.4.2.2. Hipótesis específica 2

La máxima densidad seca y el óptimo contenido de humedad del afirmado para la base de un suelo estabilizado con cemento reciclado es más eficiente que el de un suelo natural.

1.4.2.3. Hipótesis específica 3

El grado de compactación del afirmado para la base de un suelo estabilizado con cemento reciclado es más eficiente que el de un suelo natural.

CAPÍTULO II. METODOLOGÍA

2.1. Tipo y diseño de la investigación

2.1.1. Tipo

El tipo de investigación es aplicada, porque servirá como una técnica nueva para el desarrollo y elaboración de un suelo estabilizado con **cimento reciclado** al 2%, 4% y 6%, permitiendo obtener materiales alternativos para base con propiedades mecánicas similares o mejores a los suelos normales y asimismo reducir el impacto medioambiental.

2.1.2. Diseño.

Diseño cuasi experimental debido a que las muestras no son elegidas al azar, en ella se establece una situación de control en la cual se manipula de manera intencional la variable independiente suelo natural y suelo estabilizado con cemento reciclado al 2%, 4% y 6%, para que se pueda analizar las consecuencias sobre la variable dependiente propiedades mecánicas (CBR, máxima densidad seca y el óptimo contenido de humedad y grado de compactación) para la base en los suelos natural y estabilizado con cemento reciclado a ensayar.

Siendo la investigación transversal, con la manipulación de una variable y la comparación con el grupo de control.

2.1.3. Operacionalización de variables

Variable Independiente: Suelo natural y suelo estabilizado con cemento reciclado al 2%, 4% y 6%.

Variable Dependiente: Propiedades mecánicas del afirmado para la base.

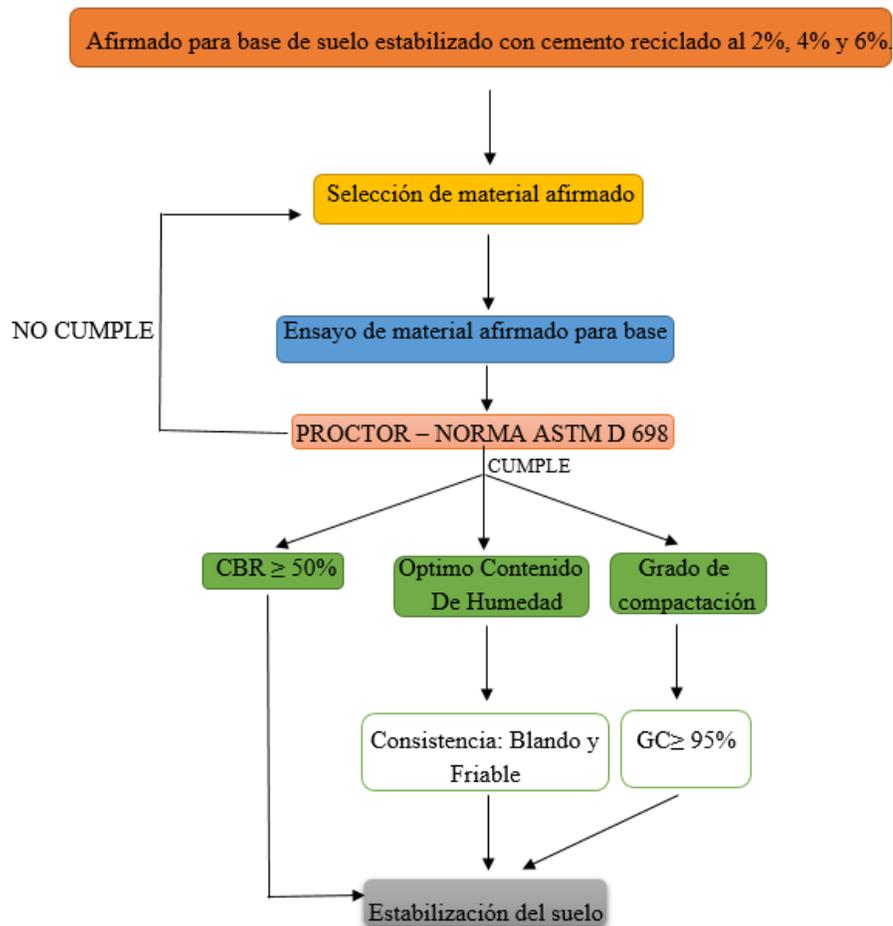


Figura 8. Flujo de operacionalización de variables

VARIABLES	DEFINICIÓN		DIMENSIONES	INDICADORES
	CONCEPTUAL	OPERACIONAL		
AFIRMADO NATURAL Y ESTABILIZADO CON CEMENTO RECICLADO AL 2%, 4% Y 6%.	Para poder medir el parámetro del suelo se realiza el ensayo del CBR que cuantifica su capacidad resistente como subrasante, sub base y base, asimismo el óptimo contenido de humedad , es el contenido de agua al cual el suelo puede ser compactado al máximo Peso Unitario Seco usando el esfuerzo de Compactación Modificada.	Los ensayos de CBR en laboratorio se hacen sobre muestras remoldeadas y compactadas con un contenido de humedad óptimo y una máxima densidad seca, para poder encontrar la influencia del cemento reciclado en el suelo estabilizado.	CBR OPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD	$50 \leq \text{CBR} \leq 100$ Forma de consistencia: Blando y Friable
PROPIEDADES MECÁNICAS DEL AFIRMADO PARA LA BASE.	El grado de compactación de un terreno se expresa en porcentaje respecto al ensayo Proctor; es decir, una compactación del 85% de Proctor Standard quiere decir que se alcanza el 85% de la máxima densidad del Proctor Standard.	El grado de compactación que se logre con el añadido de cemento reciclado, ayudará a saber la eficiencia del mismo y su óptimo uso para tránsito leve o pesado.	GRADO DE COMPACTACIÓN (GC)	$\text{GC} \geq 95\%$

Figura 9. Matriz de operacionalización de variables

2.2. Población y Muestra (Materiales, Instrumentos y Métodos)

2.2.1. Población

La población tendrá igual número de muestras, al ser esta una cantidad pequeña (Poma, 2019, pág. 28), siendo 16 especímenes en total, 4 del grupo de control y 12 del grupo experimental.

2.2.2. Muestra

El tipo de **muestreo es no probabilístico** por conveniencia, siendo el marco muestral 16 moldes, siendo, 4 muestras del grupo de control (afirmado para base de suelo

normal) y 12 muestras del grupo experimental: 4 muestras de afirmado para base de un suelo estabilizado con 2% de cemento reciclado, 4 muestras de afirmado para base de un suelo estabilizado con 4% de cemento reciclado y 4 muestras de afirmado para base de un suelo estabilizado con 6% de cemento reciclado.

Tabla 2.

Cantidad de muestras de suelo a realizar las pruebas de laboratorio.

Indicador	Mezcla	N° muestras
Afirmado para base con suelo natural	Concreto convencional	4
	Reemplazando el 2%	4
Afirmado para base con suelo natural y estabilizado con cemento reciclado	Reemplazando el 4%	4
	Reemplazando el 6%	4
Total		16

Fuente: Ensayo de laboratorio.

2.2.3. Unidad de Estudio

Moldes cilíndricos de $\varnothing = 15.24$ cm y $h = 17.78$ cm (norma ASTM D1557/ ASTM 2012).

2.3. Técnicas e instrumentos de recolección y análisis de datos.

2.3.1. Técnicas:

- La observación directa.
- Análisis de materiales.
- Fórmulas
- Diseño de mezclas
- Ensayos

2.3.2. Instrumentos de recolección datos.

Ficha de observación directa. Este instrumento permite ser metódico en cuanto al cumplimiento del cronograma para recolección de datos: recolección de las muestras del afirmado para base, pruebas de los respectivos ensayos para determinar las propiedades mecánicas para base de un suelo normal y un suelo estabilizado con cemento reciclado.

2.3.3. Técnicas de análisis de datos

Se procedió a la comparación y análisis porcentual de los resultados que arrojaron los resultados de los ensayos realizados en el laboratorio a las muestras de suelo normal y suelo estabilizado con cemento reciclado.

2.4. Procedimiento.

Previo a los ensayos según el objetivo general, se procedió a la adquisición de cemento reciclado, ubicado en los botaderos de Oquendo – Callao, siendo estos por lo general cementos portland tipo I, según las bolsas que los contenían, asimismo, este producto pasa por una triturado, luego a la molienda, la cual dejará al cemento apto para la estabilización propuesta.

❖ Muestreo y ensayos de laboratorio

✓ Muestreo



Figura 10: Muestra a ensayar

- *Clasificación del Suelo*

Para identificar el suelo es de suma importancia realizar un análisis que logre determinar y organizar de una forma segura el tipo de material que se quiere usar para fines ingenieriles. Existen varios tipos de clasificación del suelo según organizaciones que establecen grados de clasificación del suelo o material según el tamaño de partículas y su plasticidad, entre los que analizaremos están la clasificación mediante el *Sistema Unificado de Clasificación de Suelos* (S.U.C.S.) que establece parámetros y define grupos y finalmente el nombre del suelo o material.

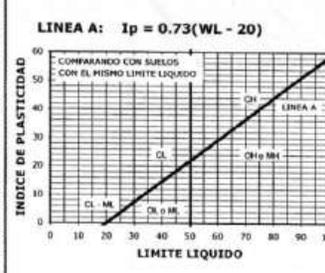
IDENTIFICACION EN EL CAMPO		SÍMBOLO DEL GRUPO	NOMBRES TÍPICOS	CRITERIOS DE CLASIFICACION EN EL LABORATORIO			
SUELOS DE GRANO GRUESO - MÁS DE LA MITAD DEL MATERIAL ES RETENIDO POR EL TAMIZ # 200	GRAVAS - MÁS DE LA MITAD DE LA FRACCIÓN GRUESA ES RETENIDA POR EL TAMIZ # 4	GW	GRAVA BIEN GRADUADA, MEZCLA DE GRAVA Y ARENA CON POCOS FINOS O SIN ELLOS	<p>DETERMINARSE LOS PORCENTAJES DE GRAVA Y ARENA A PARTIR DE LA CURVA GRANULOMÉTRICA SEGUN EL PORCENTAJE DE FINOS (FRACCIÓN QUE PASA POR EL TAMIZ # 200) LOS SUELOS GRUESOS SE CLASIFICAN COMO SIGUE:</p> <p>GW, GP, SP, SC GM, GC, SM, SC CASOS LÍMITES QUE REQUIEREN EL USO DE SÍMBOLOS DOBLES</p> <p> $C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}}$ MAYOR DE 4 ; $C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{60} \times D_{10}}$ ENTRE 1 Y 3 NO SATISFACEN TODOS LOS REQUISITOS GRANULOMÉTRICOS DE LAS GW LÍMITES DE ATTERBERG POR DEBAJO DE LA LÍNEA "A" O I_p MENOR QUE 4 POR ENCIMA DE LA LÍNEA "A", CON I_p ENTRE 4 Y 7; CASOS LÍMITES QUE REQUIEREN EL USO DE SÍMBOLOS DOBLES LÍMITES DE ATTERBERG POR ENCIMA DE LA LÍNEA "A" O I_p MAYOR QUE 7 $C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}}$ MAYOR DE 6 ; $C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{60} \times D_{10}}$ ENTRE 1 Y 3 NO SATISFACEN TODOS LOS REQUISITOS GRANULOMÉTRICOS DE LAS SW LÍMITES DE ATTERBERG POR DEBAJO DE LA LÍNEA "A" O I_p MENOR QUE 4 POR ENCIMA DE LA LÍNEA "A", CON I_p ENTRE 4 Y 7; CASOS LÍMITES QUE REQUIEREN EL USO DE SÍMBOLOS DOBLES LÍMITES DE ATTERBERG POR ENCIMA DE LA LÍNEA "A" O I_p MAYOR QUE 7 </p>			
	GRAVAS LIMPAS (CON POCOS FINOS O SIN ELLOS)	GP	GRAVAS MAL GRADUADAS, MEZCLAS DE ARENA Y GRAVA CON POCOS FINOS O SIN ELLOS				
	GRAVAS CON FINOS (CANTIDAD APRECIABLE DE FINOS)	GM	GRAVAS LIMPAS, MEZCLAS MAL GRADUADAS DE GRAVA, ARENA Y LIMO				
	GRAVAS CON FINOS (CANTIDAD APRECIABLE DE FINOS)	GC	GRAVAS ARCILLOSAS, MEZCLAS MAL GRADUADAS DE GRAVA, ARENA Y ARCILLA				
SUELOS DE GRANO MEDIO - MÁS DE LA MITAD DEL MATERIAL PASA POR EL TAMIZ # 40	ARENAS BIEN GRADUADAS (CON POCOS FINOS O SIN ELLOS)	SW	ARENAS BIEN GRADUADAS, ARENAS CON GRAVA, CON POCOS FINOS O SIN ELLOS				
	ARENAS MAL GRADUADAS (CON POCOS FINOS O SIN ELLOS)	SP	ARENAS MAL GRADUADAS, ARENAS CON GRAVA, CON POCOS FINOS O SIN ELLOS				
	ARENAS CON FINOS (CANTIDAD APRECIABLE DE FINOS)	SM	ARENAS LIMPAS, MEZCLAS DE ARENA Y LIMO MAL GRADUADAS				
	ARENAS CON FINOS (CANTIDAD APRECIABLE DE FINOS)	SC	ARENAS ARCILLOSAS, MEZCLAS MAL GRADUADAS DE ARENAS O ARCILLAS				
MÉTODOS DE IDENTIFICACION PARA LA FRACCIÓN QUE PASA POR EL TAMIZ # 40				<p>UTILÍZASE LA CURVA GRANULOMÉTRICA PARA IDENTIFICAR LAS FRACCIÓNES DE SUELO INDICADAS EN LA COLUMNA DE IDENTIFICACION EN EL CAMPO.</p> <p>LINEA A: $I_p = 0.73(WL - 20)$</p>  <p>GRÁFICO DE PLASTICIDAD PARA LA CLASIFICACION EN LABORATORIO DE SUELOS DE GRANO FINO</p>			
SUELOS DE GRANO FINO - MÁS DE LA MITAD DEL MATERIAL PASA POR EL TAMIZ # 200	LIMOS Y ARCILLAS CON LÍMITE LÍQUIDO MENOR DE 50	RESISTENCIA EN ESTADO SECO (A LA DISGREGACION)	DILATANCIA (REACCION A LA AGITACION)		TERACIDAD (CONSISTENCIA CERCA DEL LÍMITE PLÁSTICO)	ML	LIMOS INORGÁNICOS Y ARENAS MUY FINAS, POCO DE ARCILLA, ARENAS FINAS LIMPAS O ARCILLAS CON LIGERA PLASTICIDAD
		MUY A LIGERA	RÁPIDA A LENTA		NULA		
		MEDIA A ALTA	MUY LENTA		MEDIA		
		LIGERA A MEDIA	LENTA		LIGERA		
LIMOS Y ARCILLAS CON LÍMITE LÍQUIDO MAYOR DE 50	LIGERA A MEDIA	LENTA A NULA	LIGERA A MEDIA		MH	LIMOS INORGÁNICOS, SUELOS LIMOSOS O ARENOSOS, FINOS MEZCLADOS O CON DIATOMEAS, LIMOS ELÁSTICOS	
		ALTA A MUY ALTA	NULA		ALTA	CH	ARCILLAS INORGÁNICAS DE PLASTICIDAD ELEVADA, ARCILLAS GRASAS
		MEDIA A ALTA	MUY LENTA		LIGERA A MEDIA	OH	ARCILLAS ORGÁNICAS DE PLASTICIDAD MEDIA A ALTA
		FÁCILMENTE IDENTIFICABLES POR SU COLOR, OLORES, SENSACION ESPONJOSA Y FRECUENTEMENTE POR SU TEXTURA FIBROSA	Pt		TURBA Y OTROS SUELOS ALTAMENTE ORGÁNICOS		

Figura 11: Clasificación S.U.C.S.

Fuente: Civilgeeks

Ensayo de valor de soporte de california (CBR)

La prueba del CBR consistió en determinar la carga que hay que aplicar a un pistón circular de 19,35 cm² para introducirlo en una muestra de suelo a una velocidad de 1,27 mm/min y hasta obtener una penetración de 2,54 mm. A través de este procedimiento se determinó el Índice CBR que es la relación entre la carga determinada y la que se obtuvo por el mismo procedimiento para una muestra tipo de roca machacada. Se expresa en porcentaje.

El procedimiento de ejecución de la prueba CBR consistió de los siguientes pasos:

- Se determinó la humedad óptima y densidad máxima de las muestras de suelo mediante el ensayo Proctor modificado o normal.
- Se añadió agua a una muestra de suelo para alcanzar la humedad óptima.
- Se compactó la muestra en moldes CBR estandarizados de 15,24 cm de diámetro y 17,78 cm de altura. La muestra se compactó en 3 capas por molde siendo la energía de compactación de cada molde de 15, 30 o 60 golpes por capa mediante una maza de 2,5 kg que se deja caer libremente desde una altura de 305 mm.
- Posteriormente se enrazó el molde, se desmontó y se volvió a montar invertido.
- Se sumergieron los moldes en agua.
- Se colocaron la placa perforada y el vástago, así como los pesos necesarios para calcular la sobrecarga calculada.
- Se colocó el trípode de medida sobre el borde del molde, coincidiendo el vástago del micro comparador.
- Se tomó medidas diarias del micro comparador durante 4 días.
- Se sacó la muestra del agua, escurrió y secó exteriormente.
- Se aplicó la carga sobre el pistón de penetración mediante la prensa CBR y tomar las lecturas de la curva presión penetración.

- Una vez finalizado el ensayo se presentaron los resultados en una gráfica densidad seca – índice CBR.



Figura 12: Realizando el ensayo del CBR

Cabe comentar que el **índice CBR** no es una propiedad intrínseca del suelo si no que depende de las condiciones de humedad-densidad del suelo. También puede calcularse el CBR in situ sobre el terreno natural. No obstante, los resultados y **valores CBR** hay que tomarlos con cierta precaución puesto que es un ensayo que presenta cierta dispersión de resultados, no refleja las condiciones a las que estará sometido el suelo y es una prueba poco fiable para suelos con CBR elevados. A pesar de lo anterior es un ensayo muy habitual y suele correlacionarse con el módulo de elasticidad del suelo.

Ensayo de Compactación Proctor Modificado

✓ *Descripción del ensayo*

El presente ensayo permite determinar la relación entre el contenido de humedad óptimo (w_{OPT} %) y el peso seco máximo de los suelos (γ_D MAX), permitiendo también obtener la curva de compactación (w_{OPT} % vs γ_D MAX) de una muestra de suelo compactada en un molde de diámetro 4" (10.16 cm) con un martillo de 44.48 N de peso que se deja caer desde una altura de 47.52 cm, produciendo una energía de golpeo de 2700 kN-m/m³ (compactación Proctor modificado) (ASTM, 2012).

El método de compactación utilizado fue el método A, el cual se describe a continuación:

- Diámetro del molde: 4" (10.16cm)
- Material: Pasa el tamiz N° 4 (abertura de 4.75mm).
- Número de capas: 5
- Número de golpes por capa: 25
- Uso: se utiliza este método cuando el 25% o menos del material es retenido en el tamiz N° 4 (ab. 4.75 mm).

✓ *Equipo a utilizar*

Para la preparación de las muestras (Das B. , Soil Mechanics Laboratory Manual, 2002):

- Tamiz N° 4
- Bandeja para secado del suelo
- Balanza con precisión de 0.1 gr

- Fundas plásticas con capacidad de 5 kg
- Capsulas para humedad natural
- Recipiente con agua
- Herramienta menor para mezclado

Para el ensayo de compactación:

- Molde metálico de 4" de diámetro (101.6 mm \pm 0.4 mm) con un volumen de 943 cm³ \pm 14.0 cm³.
- Martillo o pisón (manual o automático) para Proctor modificado de un peso de 44.48 \pm 0.09 N que debe caer desde una altura de 457.2 mm \pm 1.3 mm. La superficie de contacto del martillo debe ser plana y circular con un diámetro de 50.80 \pm 0.25 mm. El martillo debe estar equipado con una guía hueca de diámetro mayor al martillo a fin de que caiga de forma libre.

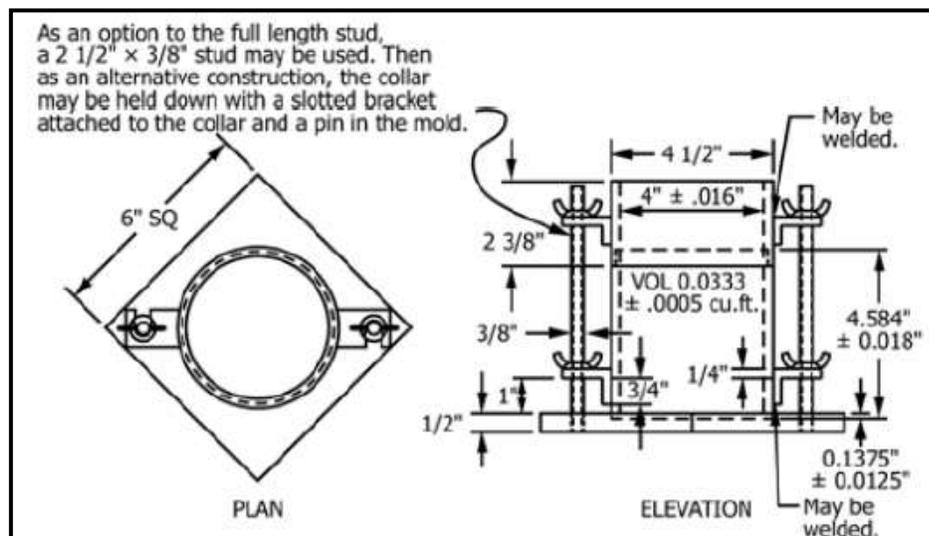


Figura 13: Dimensiones Molde – Proctor Modificado

Fuente: ASTM D1557, (ASTM 2012)

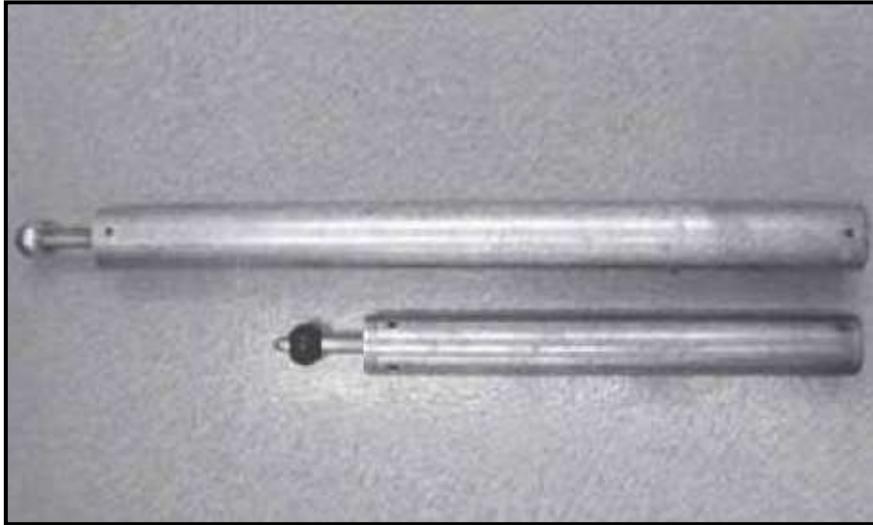


Figura 14 Martillo para Proctor estándar (abajo) y Próctor modificado (arriba)

Fuente: (Clavijo, 2016)

- Horno de secado a temperatura constante de $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$
 - Enrasador metálico de longitud mayor al diámetro del molde
 - Herramienta menor para mezclado
 - Balanza con precisión de 0.1 gr
 - Extracción de muestras
 - Cápsulas para humedad natural
- ✓ *Preparación de la muestra*

Para la preparación del ensayo de compactación es necesario secar el material a temperatura ambiente para que existan valores mayores y menores a la humedad óptima del suelo (la humedad óptima del suelo suele estar cercana al límite plástico del suelo), la humedad natural del suelo fue en promedio de 19% por lo que se extendió el material en la

bodega del laboratorio, se procedió a pasarlo por el tamiz N° 4 (Método A) y se lo dejó secar. Una vez alcanzada la humedad deseada (cerca al 12%) se prepararon 5 fundas de material con un peso aproximado de 2500 gramos y antes de cerrarlas se tomaron muestras para determinar su contenido de humedad natural.

Para el ensayo de compactación se busca que cada una de las fundas tenga un diferente contenido de humedad por lo que se busca que exista un intervalo de 2% entre puntos (fundas), para esto se determinó la cantidad de agua que se debía añadir en función de la humedad inicial del material y se preparó cada funda colocando el material dentro de la bandeja y añadiendo la cantidad de agua calculada anteriormente.

Es importante decir que, debido a la clasificación y tipo del suelo en análisis, se pudieron realizar las compactaciones inmediatamente después de agregada el agua en el suelo, ya que la norma dice que para suelos de tipo GP, GW, SW, SP no se tiene un tiempo mínimo requerido de mezclado entre el suelo y el agua.

Tabla 3.

Tiempos de reposo requeridos para humectar las muestras

Classification	Minimum Standing Time,h
GW,GP,SW,SP	no requirement
GM,SM	3
All other soils	16

Fuente: ASTM D1557, (ASTM,2012)

Una vez añadida el agua es necesario pesar cada funda a fin de saber su peso húmedo inicial antes de la compactación. (ASTM, 2012)

✓ *Procedimiento*

- Previo a realizar las compactaciones, se procede a colocar el molde en el anillo (base) y se lo pesa sin el collarín anotando el dato, después se arma completamente con el collarín.
- A continuación, se pasa el material de la primera funda a la bandeja y se va llenando el molde colocando una cantidad del material y se lo compacta con el martillo con 25 golpes según se indica en el patrón a continuación.

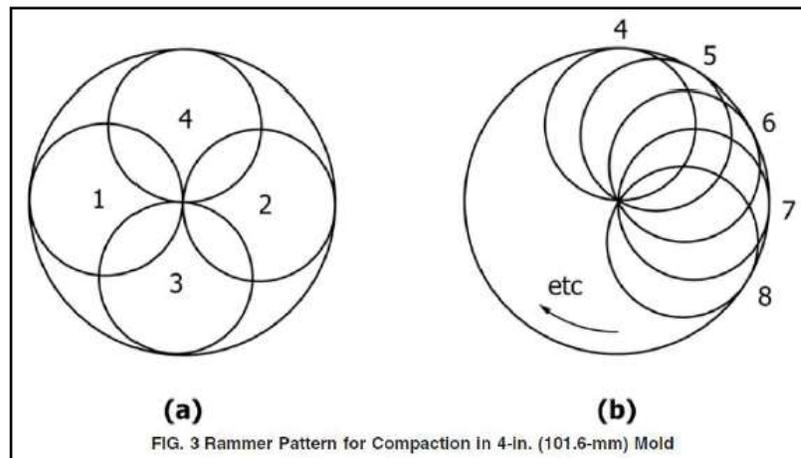


Figura 15: Patrón para compactación en molde de 4”

Fuente: (Clavijo, 2016)

- Se repite el procedimiento hasta haber completado las 5 capas iguales de 25 golpes cada una, es importante revisar que no se sobrepase en demasía la marca del collarín ni que el nivel de la última capa se encuentre bajo la marca mencionada.



Figura 16: Proctor Modificado

Fuente: Propia

- Se retira el collarín del arreglo y se enrasa el suelo dentro del molde antes de pesar en la balanza, de existir agujeros o hendiduras se las rellenará con la mezcla y se enrasará hasta obtener una superficie uniforme.



Figura 17: Molde de Proctor

Fuente: Propia

· A continuación, se toman muestras del material una vez extraído del molde, a fin de determinar el contenido de humedad de la mezcla (una muestra que sea representativa) y se las lleva al horno de secado.



Figura 18: Cápsulas de Humedad

Fuente: Propia

Al día siguiente se procede a pesar las capsulas de humedad de las compactaciones realizadas.

✓ *Cálculos*

Se calculan los pesos secos de cada uno de los puntos del ensayo del Píróctor modificado, restando el peso del molde y acorde a las humedades correspondientes mediante la

fórmula:

$$M_s = \frac{M_H}{1 + w\%}$$

Ecuación 1: Para calcular el peso seco del suelo

Dónde:

M_s = Masa de suelo en estado seco.

M_H = Masa de suelo húmedo.

$W\%$ = Contenido de humedad de la muestra de suelo (en porcentaje)

A continuación, se calcula el peso unitario seco de cada punto dividiendo la masa seca de la muestra para el volumen del molde utilizado para cada compactación durante el ensayo (es necesario conocer este volumen que ya está determinando para cada uno de los moldes).

Para realizar la curva de compactación se compara los valores de los pesos secos de cada punto con las humedades obtenidas correspondientes, así se obtendrá una curva en la cual se comparan estos parámetros y se puede encontrar los valores de Peso unitario seco Máximo y la Humedad Óptima de la muestra de suelo en análisis.

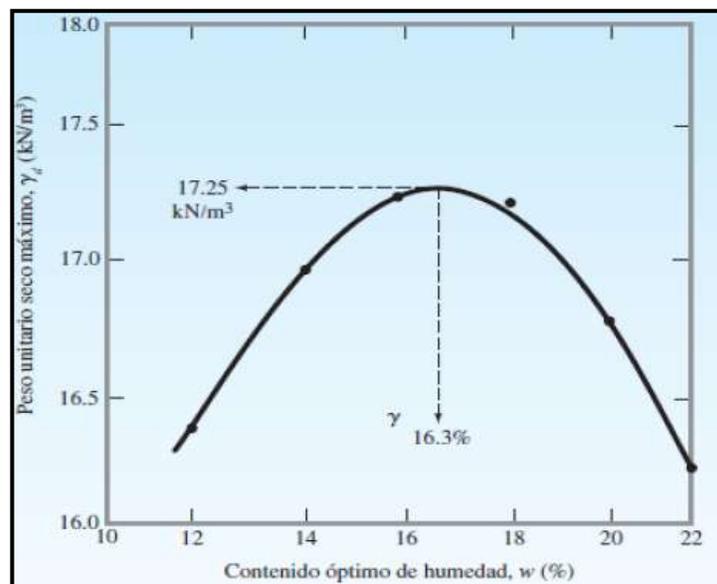


Figura 19: Ejemplo de Curva de Compactación en el ensayo de Próctor Modificado

Fuente: (Das B. , Fundamentos de Ingeniería Geotécnica, 2013)

De no existir coherencia en los resultados se repetirán los puntos que sean necesarios a fin de obtener la tendencia correcta de la curva de compactación del ensayo correspondiente (ASTM, 2012).

Además, es necesario dibujar la curva de saturación al 100% de la muestra de suelo (o Curva de cero vacíos de aire), para lo cual se seleccionan diferentes valores de densidad seca del suelo y se procede a calcular los valores de humedad correspondientes mediante la siguiente fórmula:

$$W_{sat} = \frac{\gamma_w * G_s - \gamma_d}{\gamma_d * G_s} * 100$$

Ecuación 2: Curva de Saturación al 100% de la muestra de suelo

Dónde:

W_{sat} = Contenido de humedad de saturación del 100% de la muestra de suelo

γ_d = Peso unitario seco del suelo

γ_w = Peso unitario del agua

G_s = gravedad específica del suelo en análisis.

Ensayo de Compactación de mezclas suelo – cemento Próctor modificado

✓ *Descripción del ensayo*

El presente ensayo permite determinar la relación entre el contenido de humedad óptimo (w_{OPT} %) y el peso seco máximo de los suelos (γ_D MAX), permitiendo también obtener la curva de compactación (w_{OPT} % vs γ_D MAX) de una muestra de suelo compactada en un molde de diámetro 4" (10.16 cm) con un martillo de 44.48 N de peso, produciendo una energía de golpeo de 2700 kN-m/m³.

El método de compactación utilizado fue el método A, el cual se describe a continuación:

- Diámetro del molde: 4" (10.16cm)
- Material: Pasa el tamiz N° 4 (abertura de 4.75mm).
- Número de capas: 5
- Número de golpes por capa: 25
- Uso: se utiliza este método cuando el 25% o menos del material es retenido en el tamiz N° 4 (ab. 4.75 mm).

✓ *Equipo a utilizar*

Los equipos a utilizar son los mismos que se presentaron para la compactación de muestras de suelo natural explicado anteriormente.

✓ *Preparación de la muestra*

Una vez preparadas las fundas de material para cada una de las dosificaciones de suelo-cemento de la presente investigación (2%, 4%, 6%), se procede a añadir agua al igual que el procedimiento de compactación para suelo natural.

Una vez añadida el agua es necesario pesar cada funda a fin de saber su peso húmedo inicial antes de la compactación. (ASTM, 2012)

A continuación, se realiza la dosificación del cemento al peso seco del material de las fundas, esto con el fin de evitar errores debido a los diferentes contenidos de humedad que tiene cada una de las fundas preparadas.

Se añade el cemento (la cantidad varía según la dosificación a realizar: 2, 4, 6%) al suelo de las fundas esparcido previamente en una bandeja metálica. Se homogeniza la mezcla hasta obtener un material de un solo color, cuidando de que no existan aglomeraciones solo de cemento buscando así una mezcla homogénea.



Figura 20: Mezcla de material con cemento

Fuente: (Jurado & Clavijo, 2016)

✓ *Procedimiento*

- Previo a realizar las compactaciones, se procede a colocar el molde en el anillo (base) y se lo pesa sin el collarín anotando el dato, después se arma completamente con el collarín.
- Después se coloca una cantidad de mezcla en el molde y se compacta con el martillo dando 25 golpes según se presentó en el procedimiento de compactación para suelo natural.

- Se repite el procedimiento hasta haber completado las 5 capas iguales de 25 golpes cada una, es importante revisar que no se sobrepase en demasía la marca del collarín ni que el nivel de la última capa se encuentre bajo la marca mencionada.
- Se retira el collarín del arreglo y se enrasa la mezcla dentro del molde antes de pesar en la balanza, de existir agujeros o hendiduras se las rellenará y se enrasará hasta obtener una superficie uniforme.



Figura 21: Compactación de material mezclado con cemento

Fuente: Propia

- A continuación, se extrae del molde el material y se toman muestras del mismo, a fin de determinar el contenido de humedad de la mezcla (una cantidad representativa) y se las lleva al horno de secado.
- Al día siguiente se procede a pesar las capsulas de humedad de las compactaciones realizadas.



Figura 22: Molde extraído del equipo de compactación

Fuente: (Clavijo, 2016)

✓ Cálculos

Al igual que con las muestras de suelo natural, se calculan los pesos secos de cada uno de los puntos del ensayo del Proctor modificado, restando el peso del molde y acorde a las humedades correspondientes mediante la fórmula:

$$M_s = \frac{M_H}{1 + w\%}$$

Ecuación 3: Para calcular el peso seco del suelo

Dónde:

Ms = Masa de suelo en estado seco.

MH = Masa de suelo húmedo.

W% = Contenido de humedad de la muestra de suelo (en porcentaje)

A continuación, se calcula el peso unitario seco de cada punto dividiendo la masa seca de la muestra para el volumen del molde utilizado para cada compactación durante el

ensayo (es necesario conocer este volumen que ya está determinando para cada uno de los moldes).

Para realizar la curva de compactación se compara los valores de los pesos secos de cada punto con las humedades obtenidas correspondientes, así se obtendrá una curva en la cual se comparan estos parámetros y se puede encontrar los valores de Peso unitario seco Máximo y la Humedad Óptima de la muestra de suelo en análisis.

Además, es necesario dibujar la Curva de Saturación al 100% de la muestra de suelo (o Curva de cero vacíos de aire), para lo cual se seleccionan diferentes valores de densidad seca del suelo y se procede a calcular los valores de humedad correspondientes mediante la siguiente formula:

$$w_{sat} = \frac{\gamma_w * G_s - \gamma_d}{\gamma_d * G_s} * 100$$

Ecuación 4: Curva de Saturación al 100% de la muestra de suelo

Dónde:

w_{sat} = Contenido de humedad de saturación del 100% de la muestra de suelo

γ_d = Peso unitario seco del suelo

γ_w = Peso unitario del agua

G_s = gravedad específica del suelo en análisis.

CAPÍTULO III: RESULTADOS

De acuerdo al **objetivo 1**, según el **análisis CBR efectuado a la muestra del grupo de control y a las muestras del grupo experimental (estabilizadas con 2%, 4% y 6% de cemento reciclado)**, para este caso como la muestra es para la base, se debe saber que en sectores con menos de 6 valores de CBR realizados por tipo de suelo, el Manual de Carreteras: Suelos, Geología, Geología y Pavimentos - Sección: Suelos y Pavimentos (2014), nos indica que, si los valores de CBR de la subrasante son similares, para la obtención del CBR de diseño se debe tomar el valor promedio de los CBR al 95% de la MDS y a una penetración de carga de 0.1”, tal como se obtuvieron las siguientes figuras:

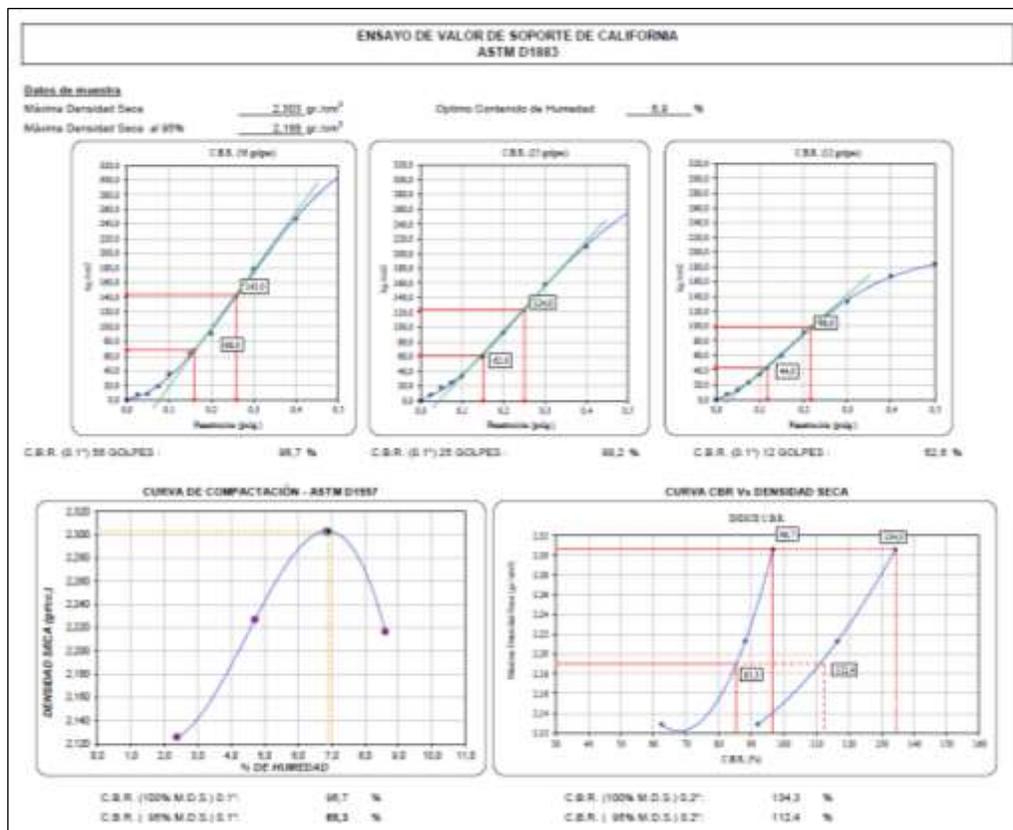


Figura 23: Ensayo de valor de soporte de california (CBR) para muestra de grupo de control.

CBR (95% Máxima Densidad Seca)

CBR 0.1" = 85.3 %.

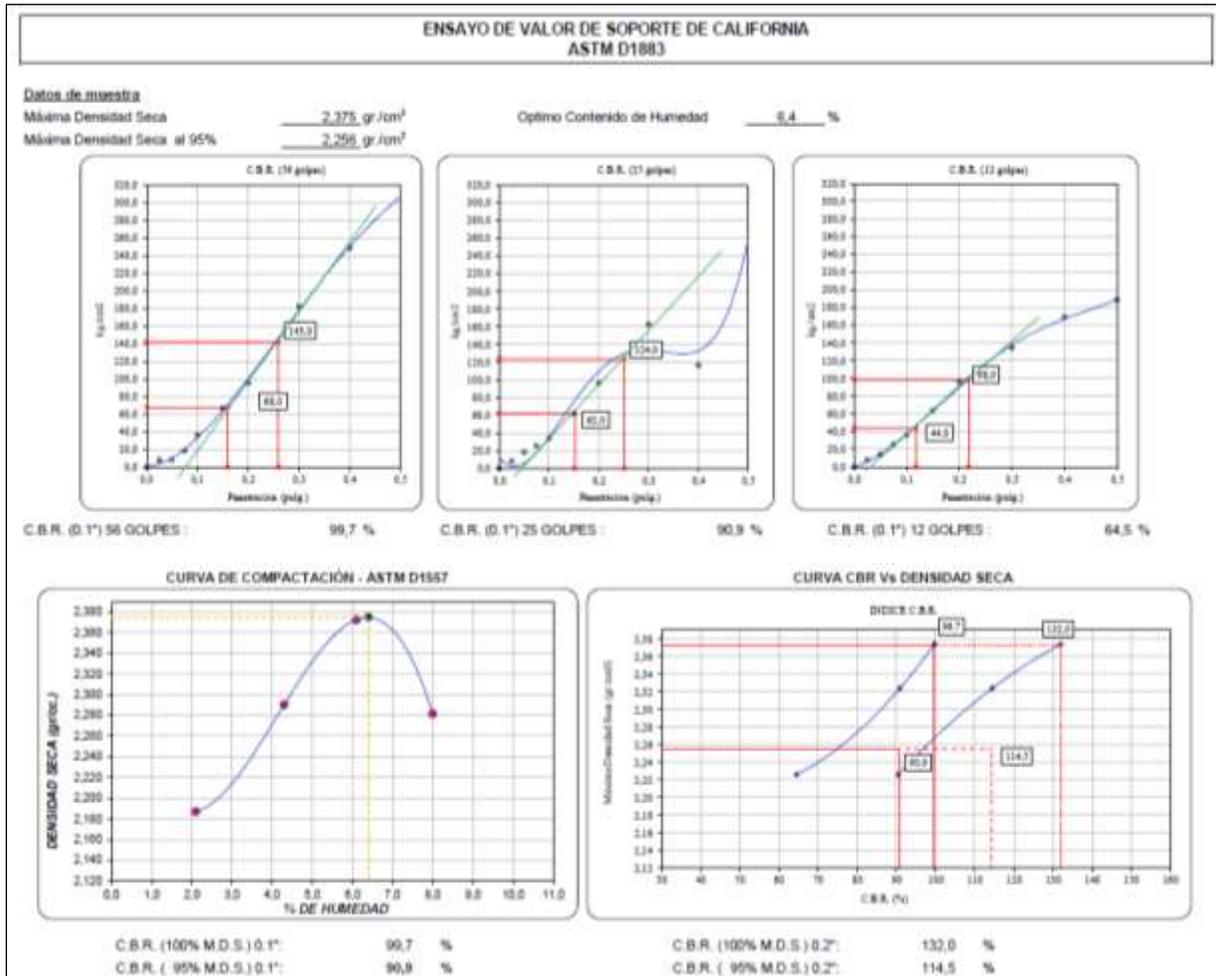


Figura 24: Ensayo de valor de soporte de california (CBR) para muestra con añadido de 2% de cemento reciclado.

CBR (95% Máxima Densidad Seca)

CBR 0.1" = 90.9 %.

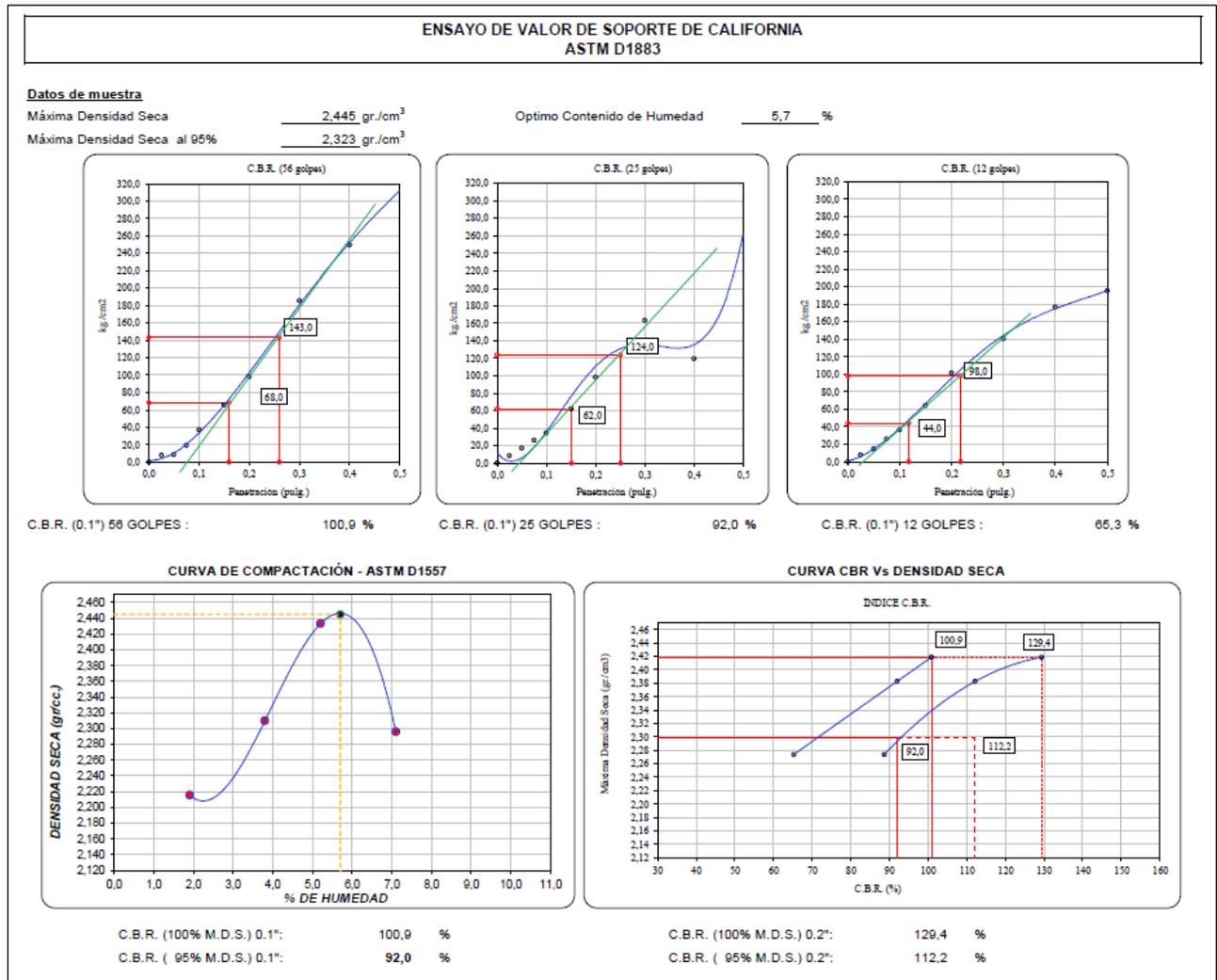


Figura 25: Ensayo de valor de soporte de california (CBR) para muestra con añadido de 4% de cemento reciclado.

CBR (95% Máxima Densidad Seca)

CBR 0.1" = 92.0 %.

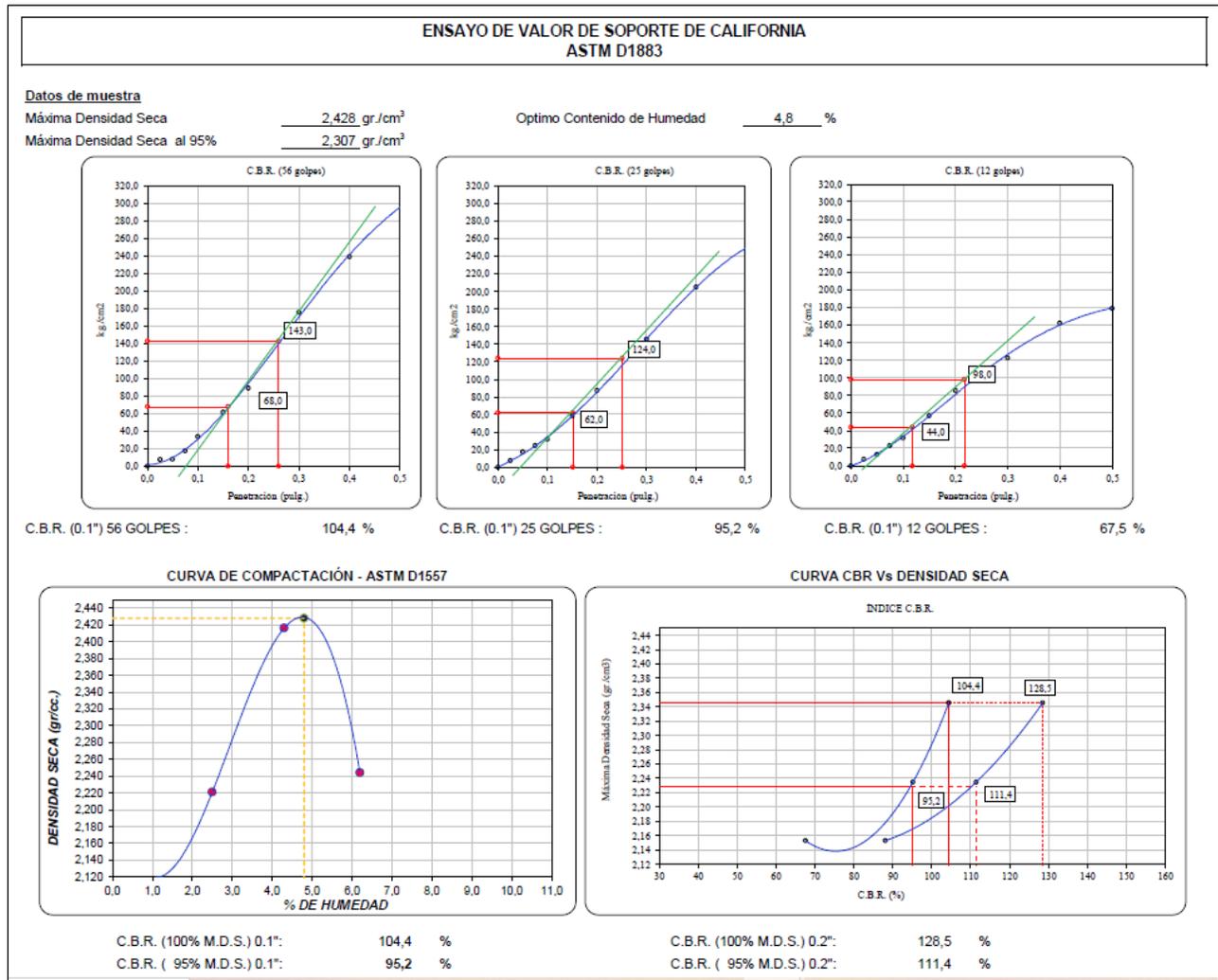


Figura 26: Ensayo de valor de soporte de california (CBR) para muestra con añadido de 6% de cemento reciclado

CBR (95% Máxima Densidad Seca)

CBR 0.1" = 95.2 %.

Tabla 4

Material para Base vs CBR

Material	CBR
Material para base	85.3%
Material para base con adición de 2% de cemento reciclado	90.7%
Material para base con adición de 4% de cemento reciclado	92.0%
Material para base con adición de 6% de cemento reciclado	95.2%



Figura 27: Material para base vs CBR

De acuerdo con los **objetivos 2 y 3**, según los datos obtenidos de la **máxima densidad seca, el óptimo contenido de humedad y el grado de compactación** para la base entre un suelo normal y un suelo estabilizado con cemento reciclado al 2%, 4% y 6%, tenemos los siguientes resultados:

	PRUEBA N°	1
	CAPA	
	Espesor	
	PROGRESIVA	
1	PESO DEL FRASCO + ARENA (g)	6768
2	PESO DEL FRASCO + ARENA QUE QUEDA (g)	3575
3	PESO DE ARENA EMPLEADA (1) - (2) (g)	3193
4	PESO DE ARENA EN EL CONO (g)	1747
5	PESO DE ARENA EN EXCAVACIÓN (3) - (4) (g)	1446
6	DENSIDAD DE LA ARENA (g/cm ³)	1,39
7	VOLUMEN DE MATERIAL EXTRAÍDO (5) / (6) (cm ³)	1040
8	PESO DEL RECIPIENTE + MATERIAL EXTRAIDO (g)	2677
9	PESO DEL RECIPIENTE (g)	235
10	PESO DEL MATERIAL EXTRAIDO (8) - (9) (g)	2442
11	DENSIDAD HÚMEDA (10) / (7) (g/cm ³)	2,35

Figura 28: Densidad natural por el método de reemplazo de arena en excavación para material de base - Método del cono de arena

Tabla 5

Valores del contenido de humedad obtenidos por el ensayo del Proctor para material de base.

Descripción	Resultados
Lectura corregida de SPEEDY (ASTM D4944-18)	6.8
Densidad seca (g/cm ³)	2.198
Máxima densidad seca PROCTOR (g/cm ³)	2.303
Óptimo contenido de humedad PRÓCTOR (%)	6.9
Grado de compactación (%)	95.44

	PRUEBA N°	1
	CAPA	
	Espesor	
	PROGRESIVA	
1	PESO DEL FRASCO + ARENA (g)	6671
2	PESO DEL FRASCO + ARENA QUE QUEDA (g)	3475
3	PESO DE ARENA EMPLEADA (1) - (2) (g)	3196
4	PESO DE ARENA EN EL CONO (g)	1747
5	PESO DE ARENA EN EXCAVACIÓN (3) - (4) (g)	1449
6	DENSIDAD DE LA ARENA (g/cm ³)	1,39
7	VOLUMEN DE MATERIAL EXTRAÍDO (5) / (6) (cm ³)	1042
8	PESO DEL RECIPIENTE + MATERIAL EXTRAÍDO (g)	2745
9	PESO DEL RECIPIENTE (g)	243
10	PESO DEL MATERIAL EXTRAÍDO (8) - (9) (g)	2502
11	DENSIDAD HÚMEDA (10) / (7) (g/cm ³)	2,40

Figura 29: Densidad natural por el método de reemplazo de arena en excavación para material de base con adición de 2% de cemento reciclado- Método del cono de arena

Tabla 6

Valores del contenido de humedad obtenidos por el ensayo del Proctor para material de base con adición de 2% de cemento reciclado

Descripción	Resultados
Lectura corregida de SPEEDY (ASTM D4944-18)	5.6
Densidad seca (g/cm ³)	2.273
Máxima densidad seca PROCTOR (g/cm ³)	2.375
Óptimo contenido de humedad PRÓCTOR (%)	6.4
Grado de compactación (%)	95.70

	PRUEBA N°	1
	CAPA	
	Espesor	
	PROGRESIVA	
1	PESO DEL FRASCO + ARENA (g)	6601
2	PESO DEL FRASCO + ARENA QUE QUEDA (g)	3456
3	PESO DE ARENA EMPLEADA (1) - (2) (g)	3145
4	PESO DE ARENA EN EL CONO (g)	1747
5	PESO DE ARENA EN EXCAVACIÓN (3) - (4) (g)	1398
6	DENSIDAD DE LA ARENA (g/cm ³)	1,39
7	VOLUMEN DE MATERIAL EXTRAÍDO (5) / (6) (cm ³)	1006
8	PESO DEL RECIPIENTE + MATERIAL EXTRAIDO (g)	2745
9	PESO DEL RECIPIENTE (g)	254
10	PESO DEL MATERIAL EXTRAIDO (8) - (9) (g)	2491
11	DENSIDAD HÚMEDA (10) / (7) (g/cm ³)	2,48

Figura 30: Densidad natural por el método de reemplazo de arena en excavación para material de base con adición de 4% de cemento reciclado- Método del cono de arena

Tabla 7

Valores del contenido de humedad obtenidos por el ensayo del Proctor para material de base con adición de 4% de cemento reciclado

Descripción	Resultados
Lectura corregida de SPEEDY (ASTM D4944-18)	5.6
Densidad seca (g/cm ³)	2.345
Máxima densidad seca PROCTOR (g/cm ³)	2.445
Óptimo contenido de humedad PRÓCTOR (%)	5.7
Grado de compactación (%)	95.93

	PRUEBA N°	1
	CAPA	
	Espesor	
	PROGRESIVA	
1	PESO DEL FRASCO + ARENA (g)	6938
2	PESO DEL FRASCO + ARENA QUE QUEDA (g)	3751
3	PESO DE ARENA EMPLEADA (1) - (2) (g)	3187
4	PESO DE ARENA EN EL CONO (g)	1747
5	PESO DE ARENA EN EXCAVACIÓN (3) - (4) (g)	1440
6	DENSIDAD DE LA ARENA (g/cm ³)	1,39
7	VOLUMEN DE MATERIAL EXTRAÍDO (5) / (6) (cm ³)	1036
8	PESO DEL RECIPIENTE + MATERIAL EXTRAÍDO (g)	2745
9	PESO DEL RECIPIENTE (g)	210
10	PESO DEL MATERIAL EXTRAÍDO (8) - (9) (g)	2535
11	DENSIDAD HÚMEDA (10) / (7) (g/cm ³)	2,45

Figura 31: Densidad natural por el método de reemplazo de arena en excavación para material de base con adición de 6% de cemento reciclado- Método del cono de arena

Tabla 8

Valores del contenido de humedad obtenidos por el ensayo del Proctor para material de base con adición de 6% de cemento reciclado

Descripción	Resultados
Lectura corregida de SPEEDY (ASTM D4944-18)	5.6
Densidad seca (g/cm ³)	2.317
Máxima densidad seca PROCTOR (g/cm ³)	2.428
Óptimo contenido de humedad PRÓCTOR (%)	4.8
Grado de compactación (%)	95.44

Tabla 9

Comparativos de los valores del contenido de humedad obtenidos por el ensayo del Proctor para grupo de control con grupo experimental.

Tipo de material	Máxima densidad seca PROCTOR (g/cm³)	Óptimo contenido de humedad PRÓCTOR (%)	Grado de compactación (%)
Material de base	2.303	6.9	95.44
Material de base con adición de 2% de cemento reciclado	2.375	6.4	95.70
Material de base con adición de 4% de cemento reciclado	2.445	5.7	95.93
Material de base con adición de 6% de cemento reciclado	2.428	4.8	95.44

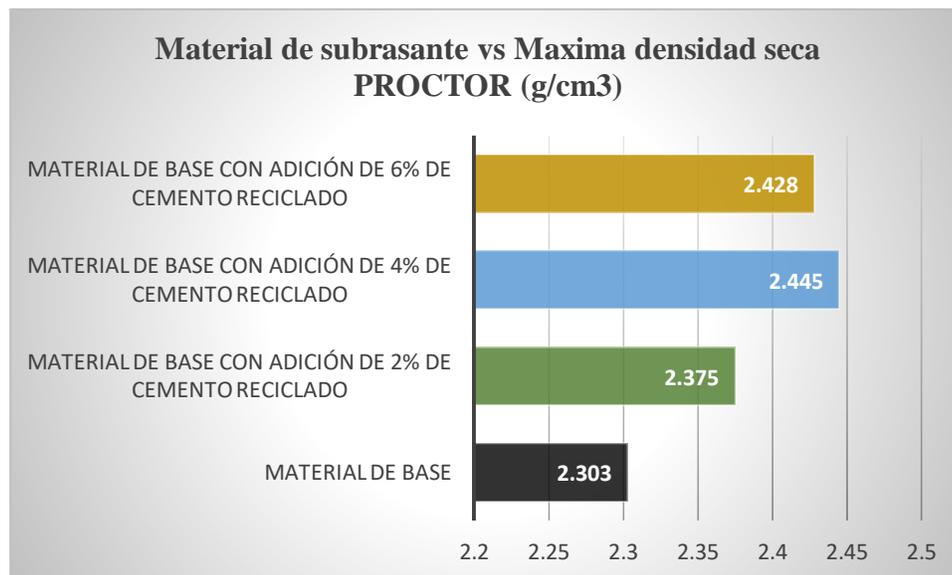


Figura 32: Comparativo material base vs máxima densidad seca PROCTOR

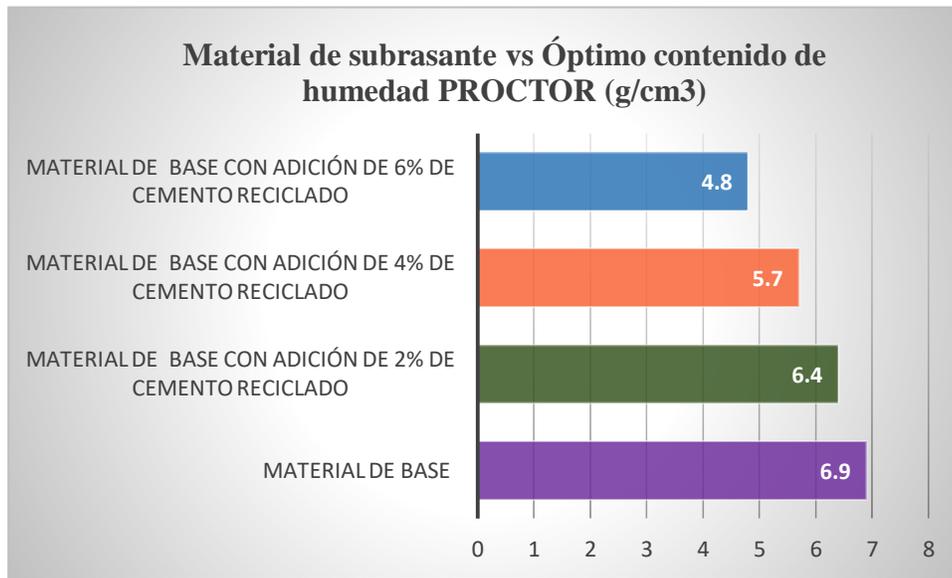


Figura 33: Comparativo material base vs óptimo contenido de humedad PROCTOR

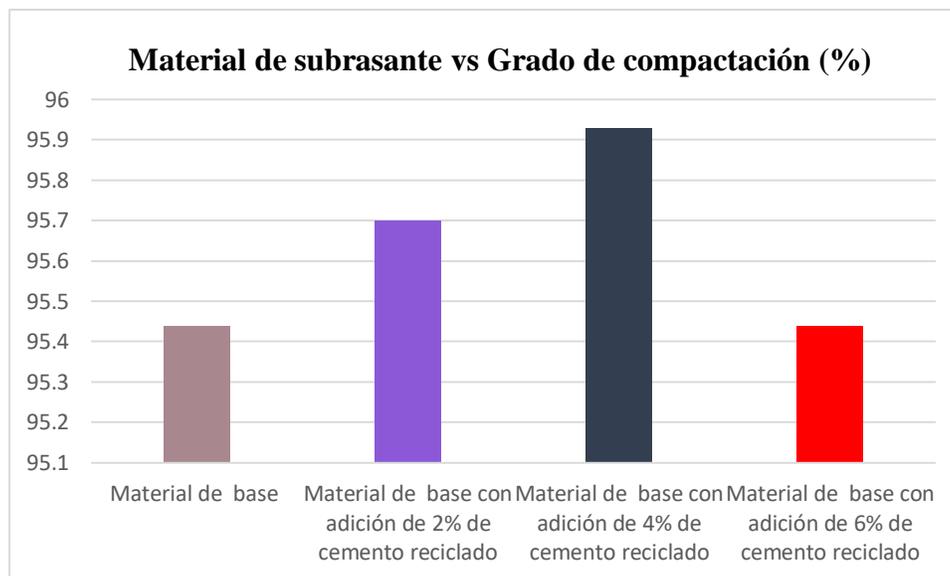


Figura 34: Comparativo material base vs grado de compactación.

CAPÍTULO IV: DISCUSIONES Y CONCLUSIONES

4.1. Discusiones

De acuerdo a Benavides (2016) en su investigación titulada “análisis comparativo de los procesos de estabilización de suelos con enzimas orgánicas y suelos-cemento, aplicado a suelos arcillosos de subrasante” concluye que la aplicación del cemento a las muestras de suelo, modifican su contenido de humedad, debido a que este absorbe el agua, lo cual los contenidos óptimos de humedad identificados en el ensayo de Proctor Modificado aumentan de acuerdo al porcentaje de cemento que se adicione a la combinación suelo-cemento, más se prevé que el suelo extraído se encuentre totalmente seco para no alterar los valores de CBR, caso parecido a este, solo que en esta ocasión se evalúa el afirmado para base, donde sus valores son superiores a los de la subrasante ($CBR \geq 50\%$).

Asimismo, según Gavilanes, (2015) en su tesis “Estabilización y mejoramiento de subrasante mediante cal y cemento para una obra vial en el sector de Santos Pamba barrio colinas del sur”, tuvo como problema del alto nivel de humedad que existen en algunas carreteras o vías de la ciudad en este caso del sector de Santos Pamba en el barrio Colinas del Sur, cuyo objetivo es analizar y evaluar las propiedades físicas y mecánicas de la modificación y estabilización de suelo en el sector de Santos Pamba en el barrio Colinas del Sur empleando adiciones de cal y cemento en diferentes porcentajes para determinar estabilización de plasticidad del material de subrasante en la vía; así como, en la investigación anterior, se analiza para capas de capacidad portante baja por ende densidad seca y óptimo contenido de humedad en comparación con este estudio bajo ya que aquí el análisis es para una base .

Finalmente, en su investigación Chura & Romero (2017) titulada “Estabilización de suelos cohesivos mediante el uso de geomallas, geotextil, cal y cemento con fines de pavimentación en el tramo de acceso del km 00+000 al km 00+750 del campus universitario UPEU Juliaca”, concluyendo que el uso de cal y cemento como material estabilizador y también el uso de refuerzos como el Geomallas y Geotextil, mejora el diseño de pavimento disminuyendo los espesores de la estructura del pavimento diseñado con el método MTC- 2014; así mismo recomienda que para lograr el mayor beneficio de estabilización y a la vez reducir costos es importante hallar el óptimo porcentaje del material estabilizador, soportadas por un diseño o como mínimo que cumplan con una especificación que garantice su supervivencia de vida útil proyectada de la estructura del pavimento; la relevancia de la tesis es que en los suelos cohesivos la estabilización óptima de cemento es a 4%, llevando a reducir espesores de diseño del pavimento de 15.38% de capa base y de capa sub base de un 20% hasta 36%, mas no indica nada del grado de compactación, asimismo, en esta investigación se utilizó material nuevo, en cambio en esta investigación, el aporte es un material reciclado, lo que hace amigable con el medio ambiente.

4.2. Conclusiones

El análisis comparativo respecto a los valores del CBR según el suelo natural y el suelo estabilizado con cemento reciclado, arrojan que mientras que el CBR del material natural es de 85.3%, con 2% de adición de cemento reciclado es 90.7%, con 4% es 92.0% y con 6% es 95.2%, para lo cual se puede apreciar el buen funcionamiento del cemento

reciclado para la estabilización de suelos respecto al soporte de california, el cual mide la resistencia al esfuerzo cortante del suelo.

Por otro lado, al comparar la densidad seca máxima y el óptimo contenido de humedad, se puede concluir que la densidad máxima seca para material natural es de 2.303 g/cm³, con adición de 2% de cemento reciclado 2.375 g/cm³, con 4% es 2.445 g/cm³ y con 6% es de 2.428 g/cm³, siendo el de 4% el óptimo ya que tiene 6.17% más que el material natural, sobre pasando al de 2% que tiene 3.13% sobre el suelo natural y el de 6% que tiene 5.43%, por otro lado, al analizar el óptimo contenido de humedad se puede apreciar que el material base posee mayor (con muy poca diferencia), dado que es más poroso que las adiciones anteriormente mencionadas.

Por último, en lo que respecta al grado de compactación, el que tiene la adición del 4% es del 95.93%, superando al del material natural que es 95.44%, con adición de 2% que es 95.70% y con adición del 6% que es 95.44%, haciéndolo bueno para veredas y pavimentos de bajo y alto tránsito.

Ha habido **limitantes** en el uso del cemento reciclado, dado que su condición de reciclado no le permite una correcta adherencia con el material base, asimismo, la **implicancia** es en el uso de la elevada presencia de contaminantes, dificultando el control del agua libre, lo cual incurre en pérdidas de resistencia y elevada absorción de agua, dificultando la trabajabilidad.

RECOMENDACIONES

Se recomendó en primer lugar, realizar aplicaciones en mínimo tres carreteras utilizando esta propuesta, para demostrar su eficiencia en todos los ámbitos analizados, llámese CBR, óptimo contenido de humedad, densidad máxima y grado de compactación.

Es importante saber que para poder realizar este trabajo se procedió a la compra de cemento reciclado el cual se haya en los botaderos de Oquendo - Callao, cuya disponibilidad se encuentra en el mercado de manera viable, dado que en muchas obras el cemento se suele pasar, dicho cemento es colocado en una máquina de molienda para su uso posterior, según el presente estudio.

Es importante que la industria de la construcción vire al uso de materiales no convencionales para las distintas actividades de la ingeniería, sobre todo en suelos, dado que el uso desmedido de material de afirmado va en desmedro del medio ambiente.

Asimismo, es muy importante no solo quedarse en las propiedades mecánicas y físicas de estos estudios, hay que profundizar también en las propiedades químicas de la propuesta y su implicancia en el medio ambiente.

Finalmente es importante realizar más investigaciones utilizando otros materiales reciclados, ya que esto permitiría mover varias industrias dando más trabajo y preservando el medio ambiente: quien produce el material, quien recicla los excedentes, quien lo procesa, quien lo adiciona y el beneficiario.

REFERENCIAS

- ANCADE, ANTER, IECA. (2009). *Manual de estabilización de suelos con cemento o cal*. Madrid: Instituto Español del Cemento y sus Aplicaciones (IECA).
- ASTM. (2003). *ASTM D559-03 Standard Test Methods for Wetting and Drying compacted Soil-Cement mixtures*.
- ASTM. (2007). *ASTM D1633-00 Standard test methods for Compressive Strength of molded Soil-Cement cylinders*.
- Bowles, J. E. (1980). *Manual de laboratorio de suelos en ingeniería Civil*. Bogotá: Mcgraw-Hill Latinoamericana S. A.
- Cornelio, L. C., Masgo, Soto, J., Ortiz, Chujutalli, C. A., Olortegui, Borja, M., & Sotelo, de la Torre, C. (1 de Octubre de 2013). *Prezi.com*. Obtenido de <https://prezi.com/7ijmf2ecgnqs/mejoramiento-de-suelos-por-drenaje/>
- Kosmatka, S. H., Kerkhoff, B., Panarese, W. C., & Tanesi, J. (2004). *Diseño y control de Mezclas de Concreto*. Mexico: Portland Cement Association PCA.
- Ccora, J. & Montenegro, H. (2011). *Estudio comparativo del mejoramiento de la base aplicando estabilizadores: emulsión asfáltica, cal y cemento – carretera cañete – Chupaca – tramo km 152+000 – 158+000* (Tesis de pregrado). Universidad Nacional de Ingeniería. Lima – Perú.
- Goma, F. (1979). *Cemento portland y otros aglomerantes*, El. Barcelona: Técnicos Asociados, S.A

- Gonzales, W., Jiménez, M. & López, R. (2007). *Guía básica para el uso de emulsiones asfálticas en la estabilización de bases en caminos de baja intensidad en el salvador* (Tesis de pregrado). Universidad de El Salvador, San salvador – El Salvador.
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2013). “*Manual de Carreteras Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos*”. Ministerio de Transportes y Comunicaciones. Lima – Perú.
- Sánchez, B. & Arquímedes, J. (2015). *Estabilización química en carreteras no pavimentadas usando cloruro de magnesio, cloruro de calcio y cemento en la región de Lambayeque*. (tesis de pregrado). Universidad Señor de Sipán. Pimentel – Perú.
- Ugaz, R. (2006). *Estabilización de Suelos y su Aplicación en el mejoramiento de Subrasante*. Facultad Nacional de Ingeniería. Lima-Perú.
- Lascano, S. D. y Narvaez, L. A. (2010). *Mejoramiento de la capacidad portante del CBR de una subbase granular con material proveniente de la provincia de Esmeraldas por medio de la adición de desechos de PVC* (Tesis de pregrado). Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Quito – Ecuador
- Mendoza, M. y Guadarrama, J. (2008). Bases y subbases. Zacatenco, México: Instituto Politécnico Nacional.
- NTP. (2004). *Estabilización química de suelos - Caracterización del estabilizador y evaluación de propiedades de comportamiento del suelo mejorado*. Norma Técnica de Estabilizadores Químicos, Dirección General de Caminos y Ferrocarriles DGC y F-Perú, Lima.

Sarango, T. E. & Vargas, C.D.C. (2008). *Competencias Técnicas en aseguramiento y control de calidad en obras viales* (Tesis de pregrado). Universidad Técnica Particular de Loja, Loja - Ecuador.

Walsh, I. D. (2011). ICE Manual of Highway Design and Management. London, UK: ICE Publishing.

Yoder, E. J. y Witczak, M. W. (1975). *Principles of Pavement Design*. John Wiley & Sons Inc, New York, NY.

ANEXOS

Anexo 1: Matriz de Consistencia

ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE UN AFIRMADO NATURAL Y ESTABILIZADO CON CEMENTO RECICLADO AL 2%, 4% Y 6% PARA BASE, LIMA NORTE 2020.	Formulación del problema	Objetivos	Hipótesis	Variables $y=f(x)$	Indicadores	Diseño de la investigación
	<p>Problema general: ¿De qué manera se puede mejorar las propiedades mecánicas del afirmado para base de un suelo natural en Los Olivos 2020?</p>	<p>Objetivo general: Determinar el análisis comparativo de las propiedades mecánicas del afirmado para la base entre un suelo natural y un suelo estabilizado con cemento reciclado al 2%, 4% y 6%. Los Olivos 2020.</p>	<p>Hipótesis general: El análisis comparativo de las propiedades mecánicas del afirmado para base entre un suelo natural y un suelo estabilizado con cemento reciclado al 2%, 4% y 6% permitió identificar la mejor alternativa.</p>	<p>Variable dependiente (y): Propiedades mecánicas para la base en los suelos normal y estabilizado con cemento reciclado.</p> <p><u>DIMENSIONES</u> D1. Módulo de elasticidad. D2. Módulo de rotura. D3. Resistencia a la compresión saturada. D4: Relación de Poisson D5: Propiedades de los suelos</p>	<p>Carga</p> <p>Deformación</p> <p>Deformación unitaria</p> <p>Esfuerzo</p> <p>Módulo de rotura</p> <p>Peso</p> <p>Granulometría</p> <p>Volumen</p>	<p>Tipo: Investigación Aplicada.</p> <p>Diseño: Cuasiexperimento.</p> <p>En tiempo: Transversal</p>
	<p>Problemas específicos:</p> <p>¿De qué manera se puede mejorar el CBR del afirmado para la base de un suelo normal en Los Olivos 2020?</p> <p>¿De qué manera se puede mejorar la máxima densidad seca y el óptimo contenido de humedad del afirmado para la base entre un suelo natural en Los Olivos 2020?</p>	<p>Objetivos específicos: Realizar el análisis comparativo del CBR para evaluar la capacidad portante del afirmado para la base entre un suelo natural y un suelo estabilizado con cemento reciclado al</p>	<p>Hipótesis específicas: El CBR del afirmado para base de un suelo estabilizado con cemento reciclado es más eficiente que el de un suelo natural.</p> <p>La máxima densidad seca y el óptimo contenido de humedad del afirmado para la</p>	<p>Variable independiente (x): Suelo normal y suelo estabilizado con cemento reciclado al 2%, 4% y 6%.</p>	<p>Densidad seca</p> <p>Óptimo contenido de humedad</p> <p>Grado de compactación.</p>	

<p>¿De qué manera se puede mejorar el grado de compactación del afirmado para la base de un suelo natural en Los Olivos 2020?</p>	<p>2%, 4% y 6%. Los Olvidos 2020.</p> <p>Realizar el análisis comparativo de la máxima densidad seca y el óptimo contenido de humedad del afirmado para la base, entre un suelo natural y un suelo estabilizado con cemento reciclado al 2%, 4% y 6%. Los Olivos 2020.</p> <p>Realizar el análisis comparativo del grado de compactación para saber el porcentaje de densidad máxima para el afirmado base entre un suelo natural y un suelo estabilizado con cemento reciclado al 2%, 4% y 6%. Los Olivos 2020.</p>	<p>base de un suelo estabilizado con cemento reciclado es más eficiente que el de un suelo natural.</p> <p>El grado de compactación del afirmado para la base de un suelo estabilizado con cemento reciclado es más eficiente que el de un suelo natural.</p>			
---	--	---	--	--	--

Anexo 2: Panel Fotográfico



Figura 35: Cuarteo de material.

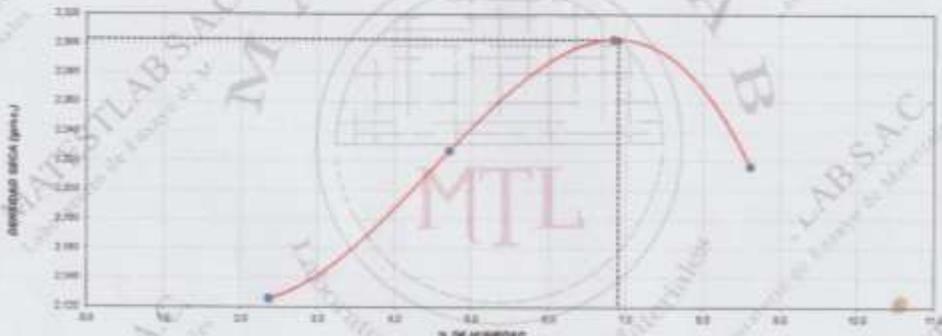


Figura 36: Materiales colocados en el horno y cálculo del límite líquido.



Figura 37. Pesado de materiales y PROCTOR.

Anexo 3. Certificados de Laboratorio

Solicitante	Henry Eloy Guispe Flores		Elaborado por	J. Escobedo		
Ubicación de Proyecto	Desarrollado en las instalaciones de MATESTLAB S.A.C.		Fecha de Ensayo	21/07/2020		
Fecha de emisión	21/07/2020		Turno	Diurno		
Identificación	Material para Base		Profundidad			
Polygónica	1		Norte	-		
N° de Muestra	1		Sur	-		
Proyecto			Oeste	-		
ENSAYO DE COMPACTACIÓN - PROCTOR MODIFICADO PARA CBR ASTM D1557 / ASTM D1583						
Volumen Móvil		2123	cm ³			
Peso Móvil		6292	g			
NUMERO DE ENSAYOS						
Peso volumétrico húmedo	g	1	2	3	4	
Contenido de agua	%	2,4	4,7	6,9	6,9	
Densidad Seca	g/cm ³	2,126	2,227	2,303	2,217	
Densidad Máxima Seca:		2,323	g/cm ³	Contenido Humedad Óptimo:		4,9 %
RELACION HUMEDAD - DENSIDAD SECA						
						
OBSERVACIONES:						
<ul style="list-style-type: none"> Muestra provista e identificada por el solicitante Prohíbese la reproducción parcial o total de este documento sin la autorización escrita de MATESTLAB S.A.C. 						
MATESTLAB S.A.C.						
TECNICO LEM Nombre y firma:  		JEFE DE SW Nombre y firma:  HENRY W. SANTIAGO FLORES INGENIERO CIVIL Reg. CIP N° 205749 MATESTLAB S.A.C.		CEO - LEM Nombre y firma:  MATESTLAB S.A.C. RUC: 20604738572 NICOLLE COMPA BARRETO GERENTE GENERAL		
 Mz. A Lt. 24 Urb. Mayorazgo Naranjal 2da etapa, 15023, San Martín de Porres		 948650513 912462558		 informes@laboratoriomatestlab.com www.laboratoriomatestlab.com		

Solicitante: Henry Eloy Quipe Ponce		Desarrollado en las Instalaciones de MATESTLAB S.A.C		Ensayado por: J. Escobedo	
Ubicación de Proyecto: Fecha del ensayo: 21/07/2020		Fecha de Ensayo: Turno: Día: 21/07/2020		Hora: 11:11	
Identificación: Material para Base		Profundidad:		Norte:	
Procedencia:		Este:		Cote:	
N° de Muestra:					
Progresiva:					

ENSAYO DE VALOR DE SOPORTE DE CALIFORNIA ASTM D1553						
CÁLCULO DE LA RELACIÓN DE SOPORTE CALIFORNIA (C.B.R.)						
Muestra N°	1	2	3	4	5	6
Nombre de capas	1	2	3	4	5	6
Número de golpes	10	10	25	25	50	50
Condiciones de la muestra	NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO	SATURADO
Peso suelo + molde (gr.)	10.130		8.941		8.720	
Peso molde (gr.)	4.652		4.732		4.807	
Peso suelo compactado (gr.)	5.318		4.199		4.886	
Volumen del molde (litro)	2.127		2.126		2.126	
Densidad nominal (gr/cm³)	2.500		2.397		2.302	
Densidad seca (gr/cm³)	2.306		2.253		2.178	

CONTENIDO DE HUMEDAD						
Peso de tara (gr.)	57.4		56.7		56.7	
Tara + suelo húmedo (gr.)	360.4		361.2		347.3	
Tara + suelo seco (gr.)	336.1		333.2		337.8	
Peso de agua (gr.)	23.9		27.9		19.5	
Peso de suelo seco (gr.)	248.1		266.9		261.2	
Humedad (%)	9.4		10.3		7.1	

EXPANSIÓN											
Fecha	Hora	Tempo Hr	Dia	Expansión			Expansión			Dia	Expansión
				mm	%	mm	%	mm	%		
NO EXPANSIVO											

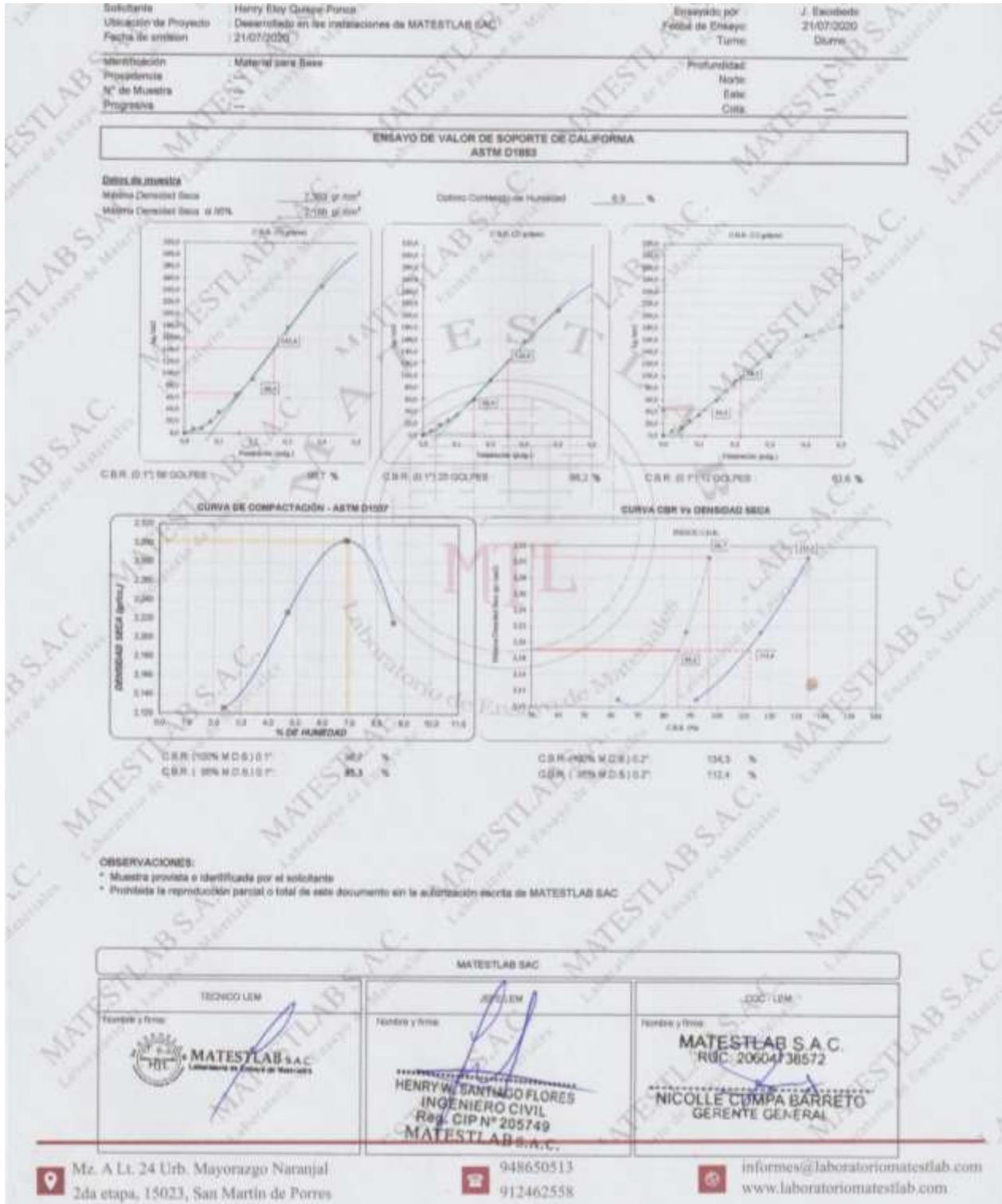
Penetración (mm)	Carga Standard (kg/cm²)	Muestra N° 2				Muestra N° 4				Muestra N° 1			
		Carga		Comentario		Carga		Comentario		Carga		Comentario	
		kg	kg/cm²	kg/cm²	CBR %	kg	kg/cm²	kg/cm²	CBR %	kg	kg/cm²	kg/cm²	CBR %
0.025		100	7.8			100	7.8			100	7.8		
0.050		181	14.0			180	13.9			215	16.5		
0.075		268	20.7			262	20.3			477	36.8		
0.100	78.507	714	55.4	66.0	86.7	876	67.8	82.0	88.2	480	37.1	44.0	62.8
0.150		1280	100.0			1207	93.8			1338	103.8		
0.200	130.660	1760	136.4	143.0	154.3	1574	122.8	134.0	148.5	1058	81.8	86.0	92.1
0.300		2800	218.0			2434	188.1			2640	203.8		
0.400		4000	312.0			3225	250.7			3380	261.8		
0.500		5140	398.4			4154	323.2			4714	365.0		

OBSERVACIONES:

- * Muestra provista e identificada por el solicitante
- * Prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin la autorización escrita de MATESTLAB S.A.C

MATESTLAB S.A.C		
<p>TECNICO LEM</p> <p>Nombre y firma:</p>  <p>MATESTLAB S.A.C Laboratorio de Ensayos de Materiales</p>	<p>JEFE DE M</p> <p>Nombre y firma:</p>  <p>HENRY W. SANTIAGO FLORES INGENIERO CIVIL Reg. CIP N° 205749</p> <p>MATESTLAB S.A.C</p>	<p>DOC - LEM</p> <p>Nombre y firma:</p>  <p>MATESTLAB S.A.C RUC: 20604738572</p> <p>NICOLLE OUMPA BARRETO GERENTE GENERAL</p>

 <p>Mz. A Lt. 24 Urb. Mayorazgo Naranjal 2da etapa, 15023, San Martín de Porres</p>	 <p>948650513 912462558</p>	 <p>informes@laboratoriomatestlab.com www.laboratoriomatestlab.com</p>
--	--	---





Solicitante	Henry Eloy Quijón Ponce		Elaborado por	J. Escobedo
Utilizador de Proyecto	Describido por las instalaciones de MATESTLAB S.A.C		Fecha de Ensayo	3/07/2020
Fecha de emisión	2/07/2020		Turno	Diurno
Identificación	Mortero para Base con adición de 2% de cemento reciclado		Profundidad	
Presentación			Nota	
N° de Muestra			Estado	
Programa			Citas	

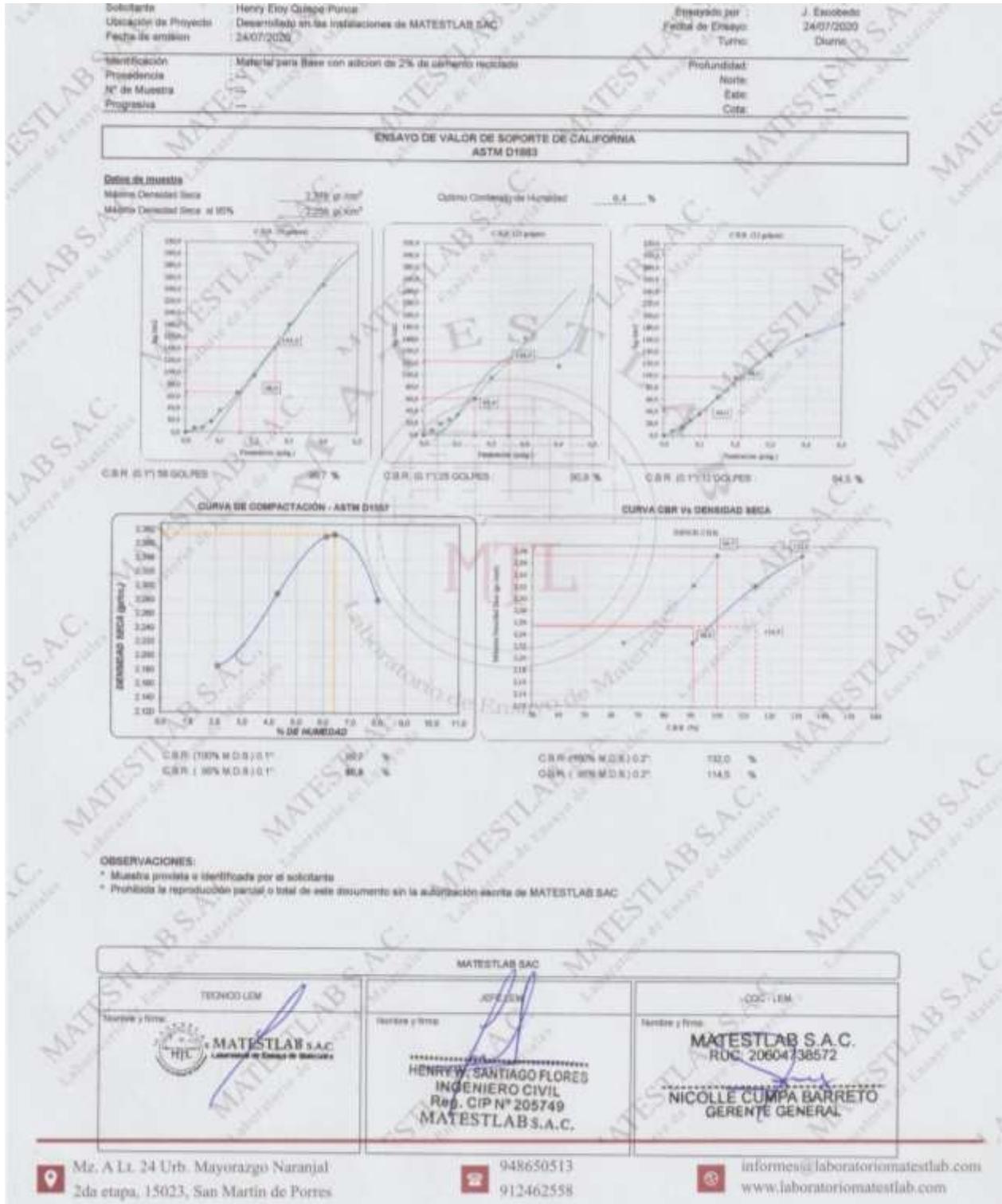
ERRAYO DE VALOR DE SOPORTE CALIFORNIA ASTM D1885													
CÁLCULO DE LA RELACIÓN DE SOPORTE CALIFORNIA (C.B.R.)													
Módulo M ¹	1		2		3								
Número de ensayos	1		1		1								
Indicador de agrietar	0		0		0								
Condición de la muestra	NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO	SATURADO							
Peso seco + molde (g)	45.199		45.071		43.991								
Peso molde (g)	4.812		4.798		4.625								
Peso suelo compactado (g)	4.037		4.589		4.588								
Volumen del molde (cm ³)	2.127		2.178		2.147								
Densidad aparente (g/cm ³)	2.028		2.099		2.099								
Densidad (g/cm ³)	2.074		2.124		2.124								
CONTENIDO DE HUMEDAD													
Peso de agua (g)	115.2		122.2		124.2								
Peso + molde + agua (g)	496.1		498.2		497.1								
Peso + molde seco (g)	380.9		381.7		380.7								
Peso de agua (g)	115.2		116.5		116.4								
Peso de suelo seco (g)	271.8		273.5		271.8								
Humedad (%)	4.4		4.1		4.3								
EXPANSIÓN													
Fecha	Hora	Tiempo en	Dist. 0.01"	Expansión		Expansión							
				mm	%	mm	%						
NO EXPANSIVO													
PENETRACIÓN													
Penetración	Carga Dinámica (kg/cm ²)	Módulo N° 2				Módulo N° 4				Módulo N° 1			
		kg	kg/cm ²	kg/cm ²	CBR %	kg	kg/cm ²	kg/cm ²	CBR %	kg	kg/cm ²	kg/cm ²	CBR %
0.025		108	7.7			102	7.1			108	7.7		
0.050		150	10.7			142	10.1			150	10.7		
0.075		212	15.2			204	14.6			212	15.2		
0.100	68.272	270	19.4	68.2	68.7	262	18.8	68.2	68.8	270	19.4	68.2	68.8
0.150		430	30.6			420	30.0			430	30.6		
0.200	108.521	590	42.3	108.5	108.8	580	41.7	108.5	108.8	590	42.3	108.5	108.8
0.300		850	60.6			840	59.8			850	60.6		
0.400		1100	78.9			1090	78.2			1100	78.9		
0.500		1350	97.2			1340	96.5			1350	97.2		

OBSERVACIONES:

- Muestra provista e identificada por el solicitante
- Prohibida la reproducción, parcial o total de este documento sin la autorización escrita de MATESTLAB S.A.C

MATESTLAB S.A.C		
<p>TECNICO LEM</p> <p>Nombre y Firma</p>  <p>MATESTLAB S.A.C Laboratorio de Ensayo de Materiales</p>	<p>JEFE LEM</p> <p>Nombre y Firma</p>  <p>HENRY W. SANTIAGO FLORES INGENIERO CIVIL Reg. CIP N° 205749 MATESTLAB S.A.C</p>	<p>COO LEM</p> <p>Nombre y Firma</p>  <p>MATESTLAB S.A.C RUC: 20604738572 NICOLLE CUMPA BARRETO GERENTE GENERAL</p>

 <p>Mz. A Lt. 24 Urb. Mayorazgo Naranjal 2da etapa, 15023, San Martín de Porres</p>	 <p>948650513 912462558</p>	 <p>informos@laboratoriomatestlab.com www.laboratoriomatestlab.com</p>
--	--	---



Solicitante	Henry Eloy Quipe Flores		Ensayos por	J. Escobedo
Ubicación de Proyecto	Desarrollado en las instalaciones de MATESTLAB S.A.C.		Fecha de Ensayo	27/07/2020
Fecha de emisión	27/07/2020		Turno	Diurno
Identificación	Material para Base con adición de 4% de cemento reciclado		Profundidad	-
Procedencia			Nombre	-
N° de Muestra			Escala	-
Programa			Fecha	-

ENSAYO DE COMPACTACIÓN - PROCTOR MODIFICADO PARA CBR ASTM D1557 / ASTM D1583				
Volumen Mide	2123	cm ³		
Peso Mide	6282	gr		

NUMERO DE ENSAYOS	1	2	3	4
Peso Volumetrico Humedo	gr 2,356	2,366	2,560	2,459
Contenido de agua	% 1,9	3,8	6,2	7,1
Densidad fresca	g/cc 2,218	2,310	2,433	2,336

Densidad Máxima Seca:	2,449	g/cc	Contenido Humedad Optimo:	6,7	%
------------------------------	--------------	------	----------------------------------	------------	---

RELACION HUMEDAD - DENSIDAD SECA	
----------------------------------	--

OBSERVACIONES:

- Muestra privada e identificada por el solicitante
- Prohíbese la reproducción parcial o total de este documento sin la autorización escrita de MATESTLAB S.A.C.

MATESTLAB S.A.C.		
<p>TECNICO LEM</p> <p>Nombre y Firma:</p> <p>MATESTLAB S.A.C. Laboratorio de Ensayo de Materiales</p>	<p>JEF. LEM</p> <p>Nombre y Firma:</p> <p>HENRY W. SANTIAGO FLORES INGENIERO CIVIL Reg. CIP N° 205749 MATESTLAB S.A.C.</p>	<p>CGC - LEM</p> <p>Nombre y Firma:</p> <p>MATESTLAB S.A.C. RUC: 20604738572 NICOLLE COMPA BARRETO GERENTE GENERAL</p>

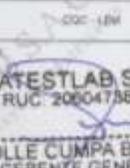
<p>Mz. A Lt. 24 Urb. Mayorazgo Naranjal 2da etapa, 15023, San Martín de Porres</p>	<p>948650513 912462558</p>	<p>informes@laboratoriomatestlab.com www.laboratoriomatestlab.com</p>
--	--------------------------------	---

Solicitante Henry Eloy Quipe Ponce	Desarrollado en las instalaciones de MATESTLAB S.A.C.	Ensayado por Fecha de Ensayo: Turno:	J. Escobedo 27/07/2020 Diurno
Utilización de Proyecto Fecha de emisión:	27/07/2020		
Identificación Procedencia N° de Muestra Progresiva	Materia para Base con adición de 4% de cemento reciclado	Profundidad Nombre Estado Cota	

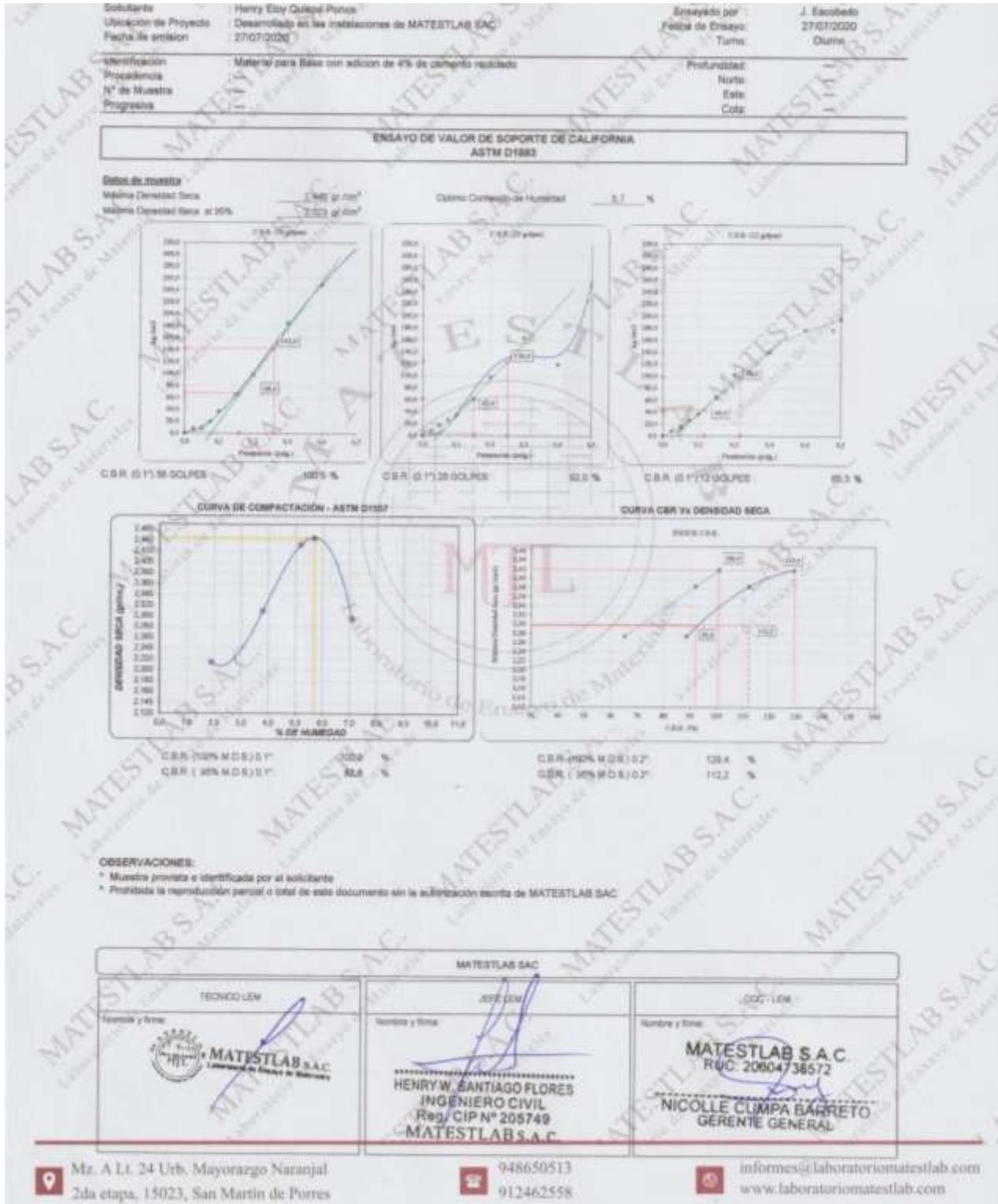
ENSAYO DE VALOR DE SOPORTE DE CALIFORNIA ASTM D1553													
CÁLCULO DE LA RELACIÓN DE SOPORTE CALIFORNIA (C.S.R.)													
Muestra N°	1	2	3	4	5	6	7						
Nombre de campo	1	2	3	4	5	6	7						
Número de golpes	10	20	30	40	50	60	70						
Estado de la muestra	NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO	SATURADO	SATURADO						
Peso seco + molde (gr.)	10,235	10,386	10,386	10,386	10,386	10,386	10,386						
Peso molde (gr.)	4,252	4,750	4,750	4,750	4,750	4,750	4,750						
Peso agua contenido (gr.)	5,420	5,340	5,340	5,340	5,340	5,340	5,340						
Volumen del molde (cc)	3,127	3,127	3,127	3,127	3,127	3,127	3,127						
Densidad aparente (gr/cc)	2,089	2,287	2,287	2,287	2,287	2,287	2,287						
Densidad seca (gr/cc)	2,419	2,380	2,380	2,380	2,380	2,380	2,380						
CONTENIDO DE HUMEDAD													
Peso de tara (gr.)	102,270	102,1	102,1	102,1	102,1	102,1	102,1						
Tara + agua saturado (gr.)	360,3	360,4	360,4	360,4	360,4	360,4	360,4						
Tara + suelo seco (gr.)	372,5	362,0	362,0	362,0	362,0	362,0	362,0						
Peso de agua (gr.)	10,227	10,2	10,2	10,2	10,2	10,2	10,2						
Peso de suelo seco (gr.)	240,3	241,1	241,1	241,1	241,1	241,1	241,1						
Humedad (%)	4,4	4,1	4,1	4,1	4,1	4,1	4,1						
EXPANSIÓN													
Fecha	Hora	Temperatura	Diámetro	Expansión		Expansión							
			cm	mm	%	mm	%						
NO EXPANSIVO													
PENETRACIÓN													
Penetración (mm)	Carga Máxima (kg/cm²)	Módulo N° 2				Módulo N° 4				Módulo N° 1			
		kg	kg/cm²	kg/cm²	CBR %	kg	kg/cm²	kg/cm²	CBR %	kg	kg/cm²	kg/cm²	CBR %
0,025		100	7,7			100	7,7			100	7,7		
0,050		100	8,3			100	11,2			100	14,0		
0,075		100	10,9			100	20,0			100	29,9		
0,100	57,412	146	26,9	66,0	106,0	104	34,1	62,0	65,0	150	35,4	44,0	66,0
0,150		150	35,0			150	45,2			150	44,2		
0,200	110,000	190	46,1	143,0	128,0	164	46,3	134,0	110,0	160	49,3	66,0	66,7
0,300		210	60,3			220	65,1			240	64,7		
0,400		240	74,8			270	79,9			300	79,8		
0,500		280	91,7			340	94,9			360	94,0		

OBSERVACIONES:

- Muestra provista e identificada por el solicitante
- Prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin la autorización escrita de MATESTLAB S.A.C.

MATESTLAB S.A.C.		
TECNICO-LEN Nombre y Firma 	JEFE-LEN Nombre y Firma  HENRY W. SANTIAGO FLORES INGENIERO CIVIL Reg. CIP N° 205749 MATESTLAB S.A.C.	COC-LEN Nombre y Firma  MATESTLAB S.A.C. RUC 20004786572 NICOLLE CUMPA BARRETO GERENTE GENERAL

Mz. A.L. 24 Urb. Mayorazgo Naranjal 2da etapa, 15023, San Martín de Porres	948650513 912462558	informes@laboratoriomatestlab.com www.laboratoriomatestlab.com
---	------------------------	---



Solicitante	Henry Eloy Guajá Ponce		Ensayos por	J. Escobedo
Ubicación de Proyecto	Desarrollado en las instalaciones de MATESTLAB S.A.C.		Fecha de Ensayo	27/07/2020
Fecha de emisión	27/07/2020		Turno	Diurno
Identificación	Material para Base con adición de 6% de cemento reciclado		Profundidad	-
Procedencia			Norte	-
N° de Muestra			Este	-
Programa			Oeste	-

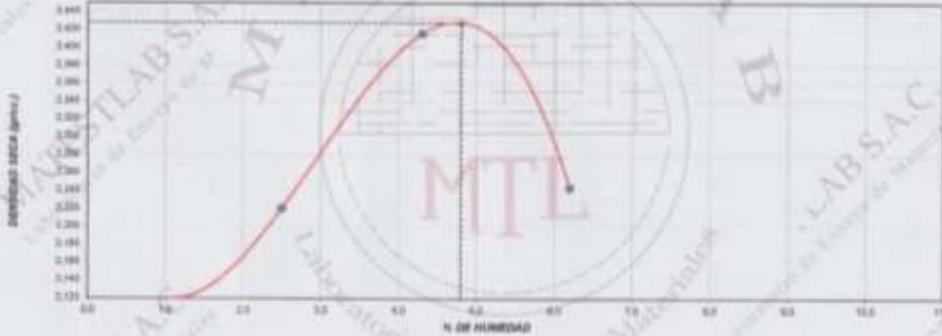
**ENSAYO DE COMPACTACIÓN - PROCTOR MODIFICADO PARA CBR
ASTM D1557 / ASTM D1583**

Volumen Mide	2122	cm ³
Peso Mide	8290	gr

NÚMERO DE ENSAYOS	1	2	3	4
Peso Volumétrico Humedo	2.143	2.276	2.620	2.363
Contenido de agua	1.1	2.5	4.3	6.2
Densidad Seca	2.120	2.221	2.418	2.244

Densidad Máxima Seca	2.428	gr/cm³	Contenido Humedad Óptimo:	4.8	%
-----------------------------	--------------	--------------------------	----------------------------------	------------	----------

RELACION HUMEDAD - DENSIDAD SECA



OBSERVACIONES:

- Muestra provista e identificada por el solicitante
- Prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin la autorización escrita de MATESTLAB S.A.C.

MATESTLAB S.A.C.		
<p>TECNICO LEW</p> <p>Nombre y Firma</p>  <p>MATESTLAB S.A.C. Laboratorio de Ensayos de Materiales</p>	<p>JEFE LEW</p> <p>Nombre y Firma</p>  <p>***** HENRY W. SANTIAGO FLORES INGENIERO CIVIL Reg. CIP N° 205741 MATESTLAB S.A.C.</p>	<p>CEO - LEW</p> <p>Nombre y Firma</p>  <p>MATESTLAB S.A.C. RUC: 20604738572 ***** NICOLLE CUMPA BARRETO GERENTE GENERAL</p>

 <p>Mz. A Lt. 24 Urb. Mayorazgo Naranjal 2da etapa, 15023, San Martín de Porres</p>	 <p>948650513 912462558</p>	 <p>informes@laboratoriomatestlab.com www.laboratoriomatestlab.com</p>
--	--	---

Solicitante	Henry Clay Outcrop Ponce		Ensayado por	J. Escobedo
Ubicación de Proyecto	Desarrollado en las instalaciones de MATESTLAB SAC		Fecha de Ensayo	27/07/2020
Fecha de emisión	27/07/2020		Turno	Diurno
Identificación	Material para Base con adición de 6% de cemento reciclado		Profundidad	
Procedencia			Nivel	
N° de Muestra			Este	
Programa			Cita	

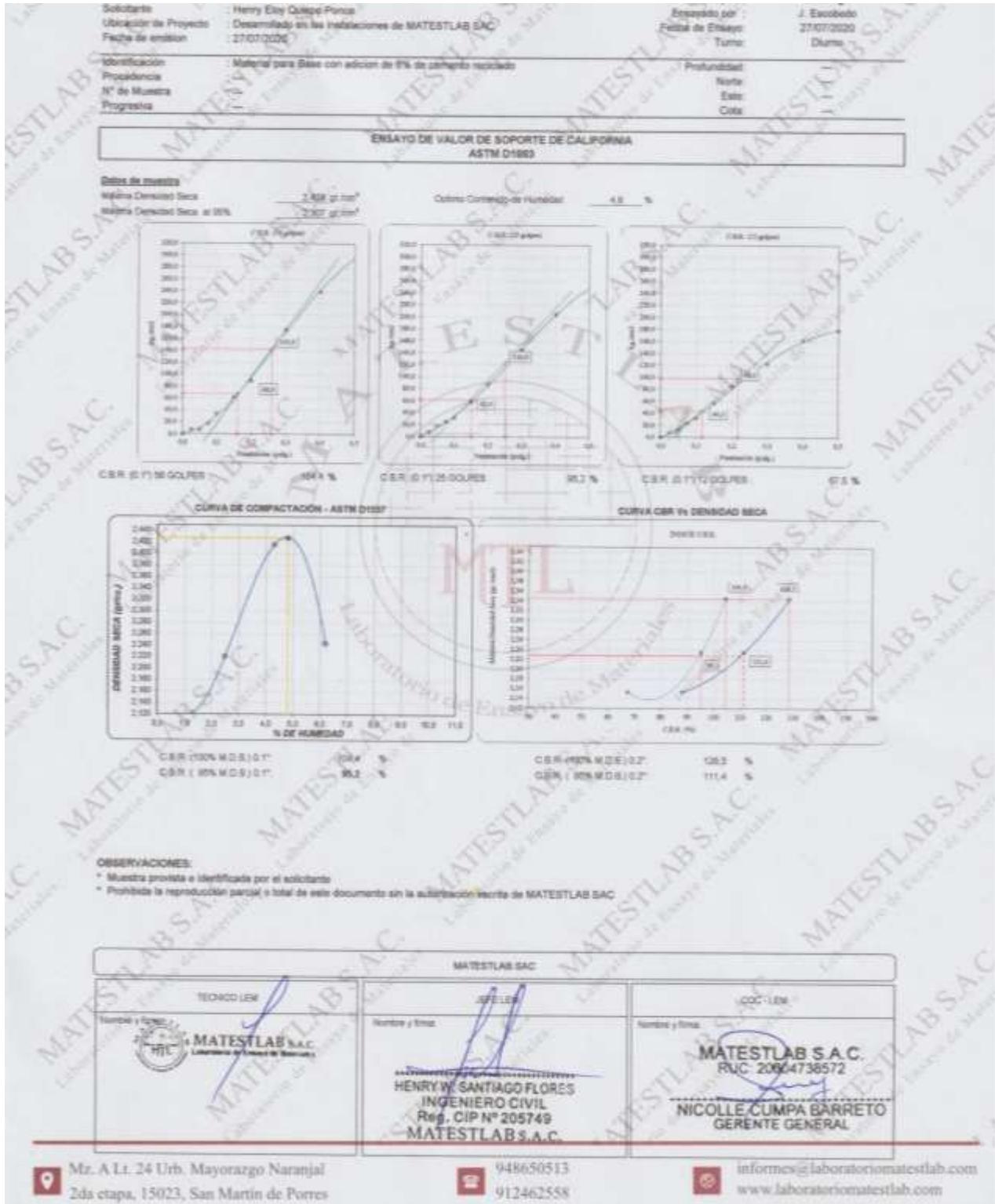
ENSAYO DE VALOR DE SOPORTE DE CALIFORNIA ASTM D1555													
CÁLCULO DE LA RELACIÓN DE SOPORTE CALIFORNIA (C.B.R.)													
Muestra N°	1	2	3	4	5	6							
Muestra (kg)	3	3	3	3	3	3							
Moisture (g)	3	3	3	3	3	3							
Moisture (%)	3	3	3	3	3	3							
Densidad de la muestra	NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO	SATURADO							
Peso seco + molde (gr.)	10.025		8.729		8.624								
Peso molde (gr.)	4.815		4.752		4.807								
Peso agua (gr.)	3.213		4.081		4.081								
Volumen del molde (cc)	3.337		3.381		3.346								
Densidad húmeda (gr/cc)	2.851		2.587		2.584								
Densidad seca (gr/cc)	2.742		2.285		2.315								
CONTENIDO DE HUMEDAD													
Peso de agua (gr.)	31.2		31.2		31.2								
Peso + agua + molde (gr.)	335.4		340.7		338.2								
Peso + molde seco (gr.)	304.1		309.5		307.0								
Peso de agua (gr.)	31.2		31.2		31.2								
Peso de agua seco (gr.)	272.9		278.3		275.8								
Humedad (%)	4.8		4.8		4.7								
EXPANSIÓN													
Fecha	Hora	Temperatura	Cil. 0.01"	Expansión	Cil.	Expansión							
		°C	mm	%	mm	%							
NO EXPANSIVO													
PENETRACIÓN													
Penetración (mm)	Carga (kg/cm²)	Módulo N° 2				Módulo N° 4				Módulo N° 1			
		Carga	Corrección			Carga	Corrección			Carga	Corrección		
		kg	kg/cm²	kg/cm²	CBR %	kg	kg/cm²	kg/cm²	CBR %	kg	kg/cm²	kg/cm²	CBR %
1000		180	7.4			182	7.3			180	7.4		
2000		337	12.2			342	11.4			331	12.0		
3000		504	17.5			495	14.9			483	13.4		
4000	65.146	651	23.8	56.5	106.4	640	23.0	40.0	66.0	641	21.7	44.0	67.0
5000		1248	41.6			1174	35.1			1145	36.7		
6000	111.284	1792	60.9	140.0	628.0	1763	67.3	134.0	111.4	1728	61.5	98.0	66.7
8000		3360	115.5			2945	104.8			2475	122.8		
10000		4827	165.0			4135	134.7			3204	160.1		
15000		5964	206.3			5024	169.8			3814	170.8		

OBSERVACIONES:

- Muestra provista e identificada por el solicitante
- Prohibida la reproducción, parcial o total de este documento sin la autorización escrita de MATESTLAB SAC

MATESTLAB SAC		
<p>TECNOLÓGICO</p> <p>Nombre y Firma</p> 	<p>JEFE DE OBRAS</p> <p>Nombre y Firma</p> <p>HENRY W. SANTIAGO FLORES INGENIERO CIVIL Reg. CIP N° 205749 MATESTLAB S.A.C.</p>	<p>OTC - UTM</p> <p>Nombre y Firma</p> <p>MATESTLAB S.A.C. RUC: 20664736572</p> <p>NICOLLE CUMPA BARRETC GERENTE GENERAL</p>

<p>Mz. A Lt. 24 Urb. Mayorazgo Naranjal 2da etapa, 15023, San Martín de Porres</p>	<p>948650513 912462558</p>	<p>informes@laboratoriomatestlab.com www.laboratoriomatestlab.com</p>
--	--------------------------------	---



Insititución:	Henry Eloy Guispe Ponce	REVISADO POR:	J. Pineda
Ubicación de Proyecto:	Desarrollado en las instalaciones de MATESTLAB S.A.C	FECHA DE ENSAYO:	20/07/2020
Fecha de emisión:	20/07/2020	TURNO:	Diurno
Cajón:			
Procedencia:	Materia para Base		
N° De Muestra:			

PRUEBA N°					
	DATA				
	Estado				
	PROCESO/NA				
1	PESO DEL FRASCO + ARENA	g	676		
2	PESO DEL FRASCO + ARENA QUE QUEDA	g	676		
3	PESO DE ARENA EMPLEADA (1) - (2)	g	0		
4	PESO DE ARENA EN EL CONO	g	1747		
5	PESO DE ARENA EN EXCAVACIÓN (3) - (4)	g	1446		
6	DENSIDAD DE LA ARENA	g/cm ³	1.29		
7	VOLUMEN DE MATERIAL EXTRAÍDO (5) / (6)	cm ³	1540		
8	PESO DEL RECIPIENTE + MATERIAL EXTRAÍDO	g	2677		
9	PESO DEL RECIPIENTE	g	205		
10	PESO DEL MATERIAL EXTRAÍDO (8) - (9)	g	2442		
11	DENSIDAD HUMEDA (10) / (7)	g/cm ³	2.55		
CONTENIDO DE HUMEDAD					
12	LECTURA CORREGIDA DE SPEEDY (ASTM D694-18)		6.9		
13	GRUPO DE ARENA (12) / (1) + (12) / (6)	g/cm ³	2.188		
14	GRUPO DE ARENA CORREGIDA PROCTOR	g/cm ³	2.302		
15	GRUPO DE HUMEDAD PROCTOR (%)		6.9		
16	GRADO DE COMPACTACIÓN (13) / (14) * 100 (%)		94.4		

UBICACIÓN DE PUNTOS:

1: 

2: 

3: 

MATESTLAB S.A.C.		
LABORATORIO	SEAL DE LABORATORIO	CONTROL DE CALIDAD
  MATESTLAB S.A.C. Laboratorio de Ensayo de Materiales	 HENRY W. SANTIAGO FLOR INGENIERO CIVIL Rg. CIP N° 205749 MATESTLAB S.A.C.	 MATESTLAB S.A.C. RUC: 20604738572 NICOLLE CUMPA BARRETO GERENTE GENERAL

 Mz. A Lt. 24 Urb. Mayorazgo Naranjal 2da etapa, 15023, San Martín de Porres	 948650513 912462558	 informes@laboratoriomatestlab.com www.laboratoriomatestlab.com
--	--	---

Solicitante	Henry Eloy Quipe Ponce		REVISADO POR	V. Barrios
Ubicación de Proyecto	Desarrollado en las instalaciones de MATESTLAB S.A.C		FECHA DE ENSAYO	09/07/2020
Fecha de emisión	28/07/2020		TURNO	Día
Código				
Descripción	Material para Base con adición de 2% de cemento reciclado			
Nº de Muestra				

PRUEBA Nº	1				
CAPA					
Estado					
PROCEDIMIENTO					
1 PESO DEL FRANCO + ARENA	(g)	3811			
2 PESO DEL FRANCO + ARENA QUE QUEDA	(g)	3475			
3 PESO DE ARENA EMPLEADA	(1) - (2)	336			
4 PESO DE AGUA EN EL CONO	(g)	1747			
5 PESO DE AGUA EN EXCAVACIÓN	(5) - (4)	1448			
6 DENSIDAD DE LA ARENA	(g/cm ³)	1.30			
7 VOLUMEN DE MATERIAL EXTRAÍDO	(5) / (6)	1042			
8 PESO DEL RECIPIENTE + MATERIAL EXTRAÍDO	(g)	2345			
9 PESO DEL RECIPIENTE	(g)	240			
10 PESO DEL MATERIAL EXTRAÍDO	(8) - (9)	2102			
11 CONTENIDO HUMEDAD	(10) / (7) (g/m ³)	2.40			
CONTENIDO DE HUMEDAD					
12 LECTURA CORREGIDA DE SPEEDY (ASTM D694-16)		0.8			
13 DENSIDAD SECA ((10) / (1 + (12) / 100)) (g/cm ³)		2.278			
14 MÁXIMO DENSIDAD SECA CORREGIDA PROCTOR (g/cm ³)		2.575			
15 ÓPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD PROCTOR (%)		6.4			
16 GRADO DE COMPACTACIÓN ((13) / (14) * 100) (%)		88.76			

UBICACIÓN DE PUNTOS:

1

2

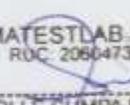
3

4

5

6

MATESTLAB S.A.C

SACRIFICADO	APROBADO	CONTROL DE CALIDAD
 	 HENRY W. SANTIAGO FLORES INGENIERO CIVIL Reg. CIP N° 205749 MATESTLAB S.A.C.	 MATESTLAB S.A.C. RUC: 20604738572 NICOLLE CUMPA BARRETO GERENTE GENERAL

Mz. A Lt. 24 Urb. Mayorazgo Naranjal
2da etapa, 15023, San Martín de Porres

948650513
912462558

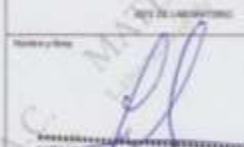
informes@laboratoriomatestlab.com
www.laboratoriomatestlab.com

Nombre:	Henry Eloy Quipe Ponce	REVISADO POR:	J. Williams
Ubicación de Proceso:	Desarrollado en las instalaciones de MATESTLAB S.A.C.	FECHA DE ENSAYO:	20/07/2020
Fecha de Emisión:	20/07/2020	TURNO:	DÍA
Código:			
Procedencia:	Material para Base con adición de FA (gragmento reciclado)		
N° De Muestra:			

PRUEBA N°	UNIDAD	RESULTADO			
1	PESO DEL FRASCO + ARENA	gr	890		
2	PESO DEL FRASCO + ARENA QUE QUEDA	gr	769		
3	PESO DE ARENA EMPLEADA (1) - (2)	gr	121		
4	PESO DE ARENA EN EL CONO	gr	177		
5	PESO DE ARENA EN DENSIFICACIÓN (2) - (4)	gr	138		
6	DENSIDAD DE LA ARENA (gr/cm ³)		1.30		
7	VOLUMEN DE MATERIAL EXTRAÍDO (2) - (5)	cm ³	128		
8	PESO DEL RECIPENTE + MATERIAL SECCIONADO	gr	235		
9	PESO DEL RECIPENTE	gr	25		
10	PESO DEL MATERIAL EXTRAÍDO (8) - (9)	gr	210		
11	DENSIDAD HUMEDA (10) / (7) * (gr/cm ³)		2.40		
CONTENIDO DE HUMEDAD					
12	LECTURA CORREGIDA DE SPEED (ASTM D690-15)		5.5		
13	DENSIDAD SECA ((1) / (1 + (2) / 100)) (gr/cm ³)		2.345		
14	MAXIMA DENSIDAD SECA CORREGIDA PROCTOR (gr/cm ³)		2.445		
15	ÓPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD PROCTOR (%)		5.7		
16	GRADO DE COMPACTACIÓN ((13) / (14) * 100) (%)		95.9		

UBICACIÓN DE PUNTES:

1
2
3

MATESTLAB S.A.C.		
LABORATORIO	RETA DE LABORACIONES	CENTRO DE CALIDAD
	 HENRY W. SANTIAGO FLORES INGENIERO CIVIL Reg. CIP N° 205740 MATESTLAB S.A.C.	 MATESTLAB S.A.C. RUC: 20604738572 NICOLLE CUMPA BARRETO GERENTE GENERAL

 Mz. A Li. 24 Urb. Mayorazgo Naranjal 2da etapa, 15023, San Martín de Porres	 948650513 912462558	 informes@laboratoriomatestlab.com www.laboratoriomatestlab.com
--	--	---

Cliente:	Henry Eloy Quispe Ponce	REVISADO POR:	Administrador
Laboratorio de Pruebas:	Desarrollado en las instalaciones de MATESTLAB S.A.C	FECHA DE ENSAYO:	14/05/2020
Escala de admisión:	2000/2000	TUBO:	Quimo
Código:			
Procedencia:	Material para Base con adición de 6% de cemento reciclado		
N° De Muestra:			

PRUEBA N°	1				
CAPA					
Espesor					
PROCESADO					
1	PESO DEL FRASCO + ARENA	30	495		
2	PESO DEL FRASCO + ARENA QUE QUEDA	30	275		
3	PESO DE ARENA EMPLEADA	70 - 30	220		
4	PESO DE MUELA EN EL CONO	30	174		
5	PESO DE MUELA EN ESCAVACIÓN	30 - 34	140		
6	DENSIDAD DE LA ARENA	gr/cm ³	1.28		
7	VOLUMEN DE MATERIAL EXTRAÍDO	20 / 30	315		
8	PESO DEL RECIPIENTE + MATERIAL EXTRAÍDO	30	236		
9	PESO DEL RECIPIENTE	30	215		
10	PESO DEL MATERIAL EXTRAÍDO	30 - 30	200		
11	DENSIDAD HUMEDA	70 / 71	2.89		
CONTENIDO DE HUMEDAD					
12	LECTURA CORREGIDA DE PESOS (ASTM D2930-18)		3.8		
13	TENSIÓN (30) - (11) / (11) + (30) / (18) gr/cm ³		2.97		
14	MÁXIMO DENSIDAD SECA CORREGIDA PROCTOR	gr/cm ³	2.63		
15	ÓPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD PROCTOR (%)		4.9		
16	GRADO DE COMPACTACIÓN (20) / (14) * 100 (%)		95.44		

UBICACIÓN DE PUNTOS

1

2

3

MATESTLAB S.A.C.		
LABORATORIO	SEAL DE AUTENTICIDAD	CONTROL DE CALIDAD
 MATESTLAB S.A.C. Laboratorio de Ensayos de Materiales	 HENRY W. SANTIAGO FLORES INGENIERO CIVIL Reg. CIP N° 205749 MATESTLAB S.A.C.	 MATESTLAB S.A.C. RUC: 20004738572 NICOLLE CUMPA BARRETO GERENTE GENERAL

 Mr. A Lt. 24 Urb. Mayorazgo Naranjal 2da etapa, 15023, San Martín de Porres	 948650513 912462558	 informes@laboratoriomatestlab.com www.laboratoriomatestlab.com
--	--	---