



# FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de Ingeniería Civil

“PROPUESTA DE MEJORAMIENTO DE LAS PROPIEDADES FÍSICO MECÁNICAS DEL MATERIAL GRANULAR CON LA ADICIÓN DE 4 % y 6 % DE RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN PARA SU USO EN AFIRMADOS SEGÚN LAS EG-2013”

Tesis para optar el título profesional de:

Ingeniero Civil

Autor:

Alexey Alvarez Vasquez

Asesor:

Ing. Jane Elizabeth Alvarez Llanos

Cajamarca - Perú

2021

## **DEDICATORIA**

Esta investigación va dedicada a mis padres por su apoyo en todo momento, por los valores que me inculcan cada día, por la confianza y el empuje que me brindan para luchar y cumplir todas mis metas. Por el sacrificio que hacen día a día para salir adelante y por todo el amor incondicional que me tienen.

## AGRADECIMIENTO

Agradecer a Dios, por guiar mis pasos, por darme la fuerza y la valentía en todo momento y no dejarme caer en los momentos más difíciles, por darme la bendición de tener personas maravillosas a mi lado que me han acompañado durante todo este proceso. Agradecer infinitamente a mis padres por el esfuerzo realizado, por todo el apoyo durante mi vida universitaria, por su comprensión, por su dedicación en convertirme en una mejor persona a pesar de las adversidades. A mis hermanos y todos los familiares que me brindaron su apoyo en los momentos más difíciles que me tocaron vivir, llenándome de fortaleza y energía para no desfallecer en el camino hacia la superación.

## TABLA DE CONTENIDOS

<b>DEDICATORIA</b> .....	<b>2</b>
<b>AGRADECIMIENTO</b> .....	<b>3</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b> .....	<b>7</b>
<b>ÍNDICE DE ECUACIONES</b> .....	<b>9</b>
<b>RESUMEN</b> .....	<b>10</b>
<b>CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>11</b>
1.1. Realidad problemática.....	<b>13</b>
1.2. Formulación del problema .....	<b>32</b>
1.3. Objetivos.....	<b>32</b>
1.3.1. Objetivo general.....	<b>32</b>
1.3.2. Objetivos específicos .....	<b>32</b>
1.4. Hipótesis .....	<b>33</b>
1.4.1. Hipótesis general.....	<b>33</b>
<b>CAPÍTULO II. METODOLOGÍA</b> .....	<b>34</b>
<b>2.1. Tipo de investigación</b> .....	<b>34</b>
2.1.1 Enfoque .....	<b>34</b>
2.1.2 Alcance .....	<b>34</b>
2.1.3 Diseño .....	<b>35</b>
2.2. Variables de estudio .....	<b>35</b>
2.3. Población y muestra .....	<b>37</b>
2.4. Técnicas e instrumentos de recolección y análisis de datos.....	<b>37</b>
2.5. Aspectos éticos .....	<b>59</b>
<b>2.6. Procedimiento de recolección de datos</b> .....	<b>59</b>
2.6.1. Proceso de recolección de material para afirmado (Cantera Don Lucho I) .....	<b>59</b>
2.6.2. Proceso de recolección de residuos de construcción .....	<b>60</b>
2.6.3. Proceso de selección y trituración de residuos de construcción .....	<b>61</b>
2.6.4. Procedimiento de adición de residuos de construcción .....	<b>62</b>
2.6.5. Determinación del contenido de humedad (material de afirmado) .....	<b>63</b>
2.6.6. Ensayo de análisis granulométrico por tamizado .....	<b>63</b>

2.6.7. Ensayo de límites de consistencia .....	64
2.6.8. Clasificación AASHTO (ASTM D 3282) .....	65
2.6.9. Clasificación SUCS (ASTM D 2487) .....	65
2.6.10. Ensayo de Abrasión Los Ángeles.....	66
2.6.11. Ensayo de proctor modificado (Compactación del suelo) .....	66
2.6.12. Ensayo CBR (California Bearing Ratio) .....	67
<b>CAPÍTULO III. RESULTADOS .....</b>	<b>69</b>
3.1. Propiedades y características de los residuos de construcción.....	69
3.2. Contenido de humedad del material de afirmado .....	71
3.3. Análisis granulométrico por tamizado de los agregados gruesos y finos.....	71
3.4. Límites de consistencia .....	74
3.5. Clasificación de suelos por el método AASHTO (ASTM D 3282).....	75
3.6. Clasificación de suelos por el método SUCS (ASTM D 2487).....	76
3.7. Abrasión de los ángeles (% de desgaste de los materiales) .....	77
3.8. Proctor modificado (compactación del suelo) .....	78
3.9. Ensayo CBR (California Bearing Ratio) .....	79
<b>CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES .....</b>	<b>81</b>
<b>4.1 Limitaciones.....</b>	<b>81</b>
<b>4.2 Discusión .....</b>	<b>82</b>
4.2.1. Propiedades y características de los residuos de construcción .....	82
4.2.2. Análisis granulométrico de los agregados gruesos y finos.....	82
4.2.3. Límites de consistencia .....	84
4.2.4. Abrasión los ángeles.....	85
4.2.5. Proctor modificado .....	86
4.2.6. CBR (California Bearing Ratio).....	87
<b>4.3 Implicancias .....</b>	<b>88</b>
<b>4.4 Conclusiones .....</b>	<b>89</b>
<b>REFERENCIAS .....</b>	<b>92</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>95</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Infraestructura vial, según jerarquía y superficie de rodadura .....	15
Tabla 2 Alternativas de estabilización de suelos .....	25
Tabla 3 Operacionalización de variables.....	36
Tabla 4 Población y muestra para ensayos del material de afirmado.....	37
Tabla 5 Uso granulométrico para afirmados .....	38
Tabla 6 Ensayos de calidad de agregados para afirmados.....	39
Tabla 7: Especificaciones técnicas para materiales empleados en afirmados de carreteras	39
Tabla 8 Cantidad mínima de material húmedo para ensayo de contenido de humedad.....	40
Tabla 9 Pesos mínimos de muestra para ensayo de análisis granulométrico .....	42
Tabla 10 Carga abrasiva según granulometría del agregado para ensayo de abrasión.....	47
Tabla 11 Granulometría de la muestra de agregado para ensayo de abrasión.....	47
Tabla 12 Elección del método para ensayo proctor modificado .....	50
Tabla 13 Valor patrón de la relación de soporte (índice resistente CBR) .....	53
Tabla 14 Sistema de clasificación AASHTO .....	56
Tabla 15 Sistema de clasificación SUCS .....	58
Tabla 16 Análisis granulométrico RC .....	69
Tabla 17 Resultados del análisis de RC.....	70
Tabla 18 Análisis granulométrico muestra patrón.....	71
Tabla 19 Análisis granulométrico con adición de 4% de residuos de construcción.....	72
Tabla 20 Análisis granulométrico con adición de 6% de residuos de construcción.....	73
Tabla 21 Cuadro comparativo de los ensayos de límites de consistencia .....	75
Tabla 22 Coeficientes $C_u$ y $C_c$ para clasificación de suelos - SUCS.....	76
Tabla 23 Cuadro comparativo de los ensayos de abrasión .....	77
Tabla 24 Cuadro comparativo de los ensayos de proctor modificado.....	78
Tabla 25 Cuadro comparativo de los ensayos CBR .....	80
Tabla 26 Matriz de Operacionalización.....	97
Tabla 27 Matriz de consistencia .....	99

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Protocolo para ensayo de contenido de humedad adaptado de la norma MTC E-108. ....	41
Figura 2. Protocolo para ensayo granulométrico adaptado de la norma MTC E-204. ....	43
Figura 3. Protocolo para ensayo de límites de consistencia adaptado de la norma MTC E-110/111. ....	46
Figura 4. Protocolo para ensayo de abrasión adaptado de la norma MTC E-207. ....	48
Figura 5. Protocolo para ensayo de proctor modificado adaptado de la norma MTC E-115. ....	51
Figura 6 Curva para calcular el índice CBR. ....	54
Figura 7. Protocolo para ensayo CBR adaptado de la norma MTC E-132. ....	55
Figura 8. Ubicación cantera Don Lucho I. ....	60
Figura 9. Ubicación depósito de residuos de construcción. ....	61
Figura 10. Curva granulométrica RC. ....	70
Figura 11. Curva granulométrica muestra patrón. ....	72
Figura 12. Curva granulométrica con adición de 4% de residuos de construcción. ....	73
Figura 13. Curva granulométrica con adición de 6% de residuos de construcción. ....	74
Figura 14. Variación de la curva granulométrica según muestras ensayadas. ....	74
Figura 15. Variación del límite líquido. ....	75
Figura 16. Variación del ensayo de abrasión los ángeles. ....	77
Figura 17. Variación de la máxima densidad seca. ....	79
Figura 18. Variación del optimo contenido de humedad. ....	79
Figura 19. Variación del índice CBR. ....	80
Figura 20. Recolección de material granular - cantera Don Lucho I. ....	101
Figura 21. Pesado de muestras para determinar el contenido de humedad del material. ..	101
Figura 22. Ensayo de contenido de humedad – peso de muestra inalterada. ....	102
Figura 23. Mesclado de material al adicionar RC para ensayo de granulometría. ....	102
Figura 24. Tamizado para determinar la distribución granulométrica del material. ....	103
Figura 25. Lavado de material por el tamiz N° 200 para granulometría de agregado fino. ....	103
Figura 26. Adición de 4 % de RC para ensayo de límites de consistencia. ....	104
Figura 27. Preparado de muestra para ensayo de límite líquido. ....	104

Figura 28. Ensayo de límite líquido.....	105
Figura 29. Ensayo de límite plástico. ....	105
Figura 30. Granulometría del material para ensayo de abrasión los ángeles. ....	106
Figura 31. Proceso de adición de RC para ensayo de abrasión los ángeles. ....	106
Figura 32. Muestra extraída de la máquina de los ángeles después del ensayo de abrasión. .....	107
Figura 33. Tamizado del material por la malla N° 12 para determinar el % de pérdida. ..	107
Figura 34. Proceso de adición de RC para ensayo de proctor modificado.....	108
Figura 35. Preparación de muestra para ensayo de proctor modificado.....	108
Figura 36. Compactación del material en molde tipo "C".....	109
Figura 37. Compactación de muestras para ensayo CBR.....	109
Figura 38. Ensayo de esfuerzo – penetración, prensa CBR.....	110
Figura 39. Especímenes después de realizado el ensayo de esfuerzo penetración.....	110

## ÍNDICE DE ECUACIONES

<b>Ecuación 1:</b> Contenido de humedad. ....	40
<b>Ecuación 2:</b> Contenido de humedad. ....	40
<b>Ecuación 3:</b> Porcentaje de material fino para análisis granulométrico. ....	42
<b>Ecuación 4:</b> Porcentaje parcial retenido en análisis granulométrico. ....	42
<b>Ecuación 5:</b> Porcentaje de material pasante en análisis granulométrico. ....	43
<b>Ecuación 6:</b> Límite Plástico. ....	44
<b>Ecuación 7:</b> Índice de plasticidad. donde: ....	45
<b>Ecuación 8:</b> Porcentaje de desgaste a la abrasión. ....	47
<b>Ecuación 9:</b> Densidad húmeda del material. ....	49
<b>Ecuación 10:</b> Densidad seca del material. ....	49
<b>Ecuación 11:</b> Porcentaje de agua a añadir CBR. ....	52
<b>Ecuación 12:</b> Porcentaje de expansión CBR. ....	53
<b>Ecuación 13:</b> Esfuerzo. ....	54
<b>Ecuación 14:</b> Índice CBR. ....	54
<b>Ecuación 15:</b> Índice de grupo. ....	65
<b>Ecuación 16:</b> Coeficiente de uniformidad. ....	65
<b>Ecuación 17:</b> Coeficiente de curvatura. ....	65

## RESUMEN

Esta investigación tuvo como objetivo principal determinar la influencia de la adición de 4% y 6% de residuos de construcción [RC] en el mejoramiento de las propiedades físico mecánicas del material granular para su uso en afirmados según el Manual de Carreteras-Especificaciones Técnicas Generales para Construcción [EG-2013]. R.D. N° 22-2013-MTC. Se desarrolló en base a la observación directa; se recolectó material granular de la cantera Don Lucho I, ubicada a la altura del Km 02+500, carretera a la Costa en el Distrito, Provincia y Región Cajamarca; se recolectó RC generados en la ciudad de Cajamarca provenientes de elaboración de concretos, como restos de concreto de elementos estructurales de edificaciones (vigas, columnas) sin refuerzo (acero) y pavimentos rígidos, se trituró manualmente y mediante tamizado se obtuvo como fracción gruesa el material retenido en el tamiz N° 4 y como fracción fina el pasante dicho tamiz; se tomó material granular como muestra patrón y muestras adicionando 4% y 6% de RC, se determinó sus propiedades físico mecánicas en el laboratorio de suelos de la Universidad Privada del Norte según normas del MTC. Se obtuvo que al adicionar RC mejora la granulometría del material, tiene relación inversamente proporcional con el límite líquido, no presenta plasticidad, reduce el porcentaje de pérdida a la abrasión respecto a la muestra patrón de 60.49% a 56.40% y 50.21% adicionando 4% y 6% de RC respectivamente, e incrementa el CBR de 30.00% a 34.90% y 41.30% adicionando 4% y 6% de RC respectivamente. Se concluye que los RC influyen positivamente en el mejoramiento de las propiedades físico mecánicas del material granular.

**Palabras clave:** Material granular, RC, adición, afirmado, granulometría, límite líquido, límite plástico, índice de plasticidad, abrasión, CBR.

## CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

Gran parte del territorio peruano cuenta con suelos inestables que ocasionan una gran problemática en la construcción, teniendo en cuenta que los suelos son la base fundamental de toda obra de infraestructura civil, utilizado en la construcción de diversas obras civiles tales como el empleo en proyectos viales que debido a la mala calidad de los mismos generan inestabilidad produciendo diversas fallas en la estructura de los pavimentos (Gutiérrez, 2010).

Los materiales utilizados en la construcción de obras viales deben de cumplir ciertas propiedades tanto físicas como mecánicas que permitan lograr una adecuada estabilidad y capacidades resistentes que puedan satisfacer las distintas solicitudes a las que están expuestas los materiales como cambios climáticos o la presencia de cargas originadas por el tránsito vehicular, para lo cual se utilizan la incorporación o adición de otros agentes para mejorar los suelos y así lograr una estabilización adecuada (Norma CE 020, 2006).

En el Perú la disposición de los residuos de construcción es un problema latente debido a que no se logra completar todas las fases de deposición de los mismos, esto principalmente por la escasez de rellenos sanitarios existentes, por lo que se hace necesario implementar la gestión de residuos de construcción [RC] tomando en consideración todas sus etapas, desde su generación hasta su disposición final. Se observa que en su mayoría los RC provienen de escombros de edificaciones, concretos y asfaltos, pueden ser reutilizados como capas estructurales de caminos y carreteras, con lo cual se estaría reduciendo su acumulación en los centros de acopio, disminuyendo el impacto negativo que estos le causan al medio ambiente (Bazán, 2018).

Los residuos generados en la construcción conforman una cantidad considerable de escombros de concreto que pueden ser separados mediante un reciclaje selectivo, y de esta manera poder reutilizarlos ya sea en la elaboración de concreto no estructural o en

la construcción de pavimentos rígidos y flexibles. Las propiedades de los materiales reciclados del concreto están influenciadas de acuerdo a los agregados utilizados para la elaboración del mismo, así como su proceso de ejecución; varias investigaciones orientadas al cuidado del medio ambiente y a la disminución de costos en obras, han encontrado resultados positivos para la reutilización de los RC en concretos y sub bases y bases de pavimentos, los cuales generan impactos positivos debido a que son considerados como material alternativo, como por ejemplo para el caso de bases y sub bases granulares en pavimentos, que mediante procesos de compactación estos garantizan un incremento de su densidad y en consecuencia, una mejora de sus propiedades mecánicas (Peña, 2018).

Es una buena práctica la reutilización de RC en los proyectos de infraestructura civil como estudios, diseños, construcción y conservación de pavimentos, debido a que presentan resultados óptimos al ser utilizados como materiales para estructura de los pavimentos. Además, nos brindan una mejora de las propiedades tanto físicas como mecánicas de los materiales granulares al ser estabilizados con estos RC, pues incrementan la densificación del material y por ende mejoran sus capacidades resistentes de los mismos (García, 2016).

Debido a la problemática de calidad de materiales se buscan soluciones para mejorar su comportamiento ante factores externos sometidos a ciertos tratamientos y de esta manera corregir sus deficiencias alterando sus propiedades físico mecánicas de modo que mejoren sus características de estabilidad y resistencia (Rodríguez, 2006). Es así que con el mismo propósito esta investigación estudia una propuesta de mejoramiento de las propiedades físico mecánicas del material granular con la adición de residuos de construcción, para comparar si satisfacen los requisitos de calidad de un afirmado según la normativa del Ministerio de Transportes y Comunicaciones [MTC].

## 1.1. Realidad problemática

El Perú cuenta con un sinnúmero de vías de comunicación distribuidas alrededor de todo el territorio nacional, de las cuales existen un gran número de ellas a nivel de trochas carrozables y/o afirmadas las mismas que se deterioran rápidamente debido a factores climáticos o debido a la calidad de los materiales que se encuentran en estado natural y son utilizados como afirmado de carreteras de bajo volumen de tránsito los cuales en muchas ocasiones no satisfacen los parámetros que rigen las normas del Ministerio de Transportes y Comunicaciones, contemplados en su sección 301 de las Especificaciones Técnicas Generales para Construcción [EG-2013], generando así una gran problemática en el tránsito vehicular ocasionado por el deterioro prematuro de las vías.

Los materiales granulares provenientes de la extracción de canteras naturales que se utilizan para afirmado de carreteras por lo general no satisfacen los requisitos especificados en las normas establecidas en el Manual de Carreteras-Especificaciones Técnicas Generales para Construcción [EG-2013]. R.D. N° 22-2013-MTC en su sección 301 sobre afirmados, debido a eso se buscan soluciones en base a la inclusión de productos químicos o combinación con otro tipo de materias con el fin de mejorar el comportamiento de sus propiedades físicas y mecánicas. Además teniendo en cuenta el impacto ambiental negativo que causan los residuos de construcción al ecosistema, se pretende aprovechar estos recursos como material reutilizable para aplicarlo como una propuesta de mejoramiento de las propiedades de los materiales granulares utilizados como capa de afirmado en las diferentes obras viales, contribuyendo de esta manera a la reducción de problemas ambientales negativos, por lo cual se plantea el estudio del mejoramiento de las propiedades físico mecánicas del material granular con la adición de 4% y 6 % de residuos de construcción generados en la ciudad de Cajamarca para su uso en afirmados, siguiendo los lineamientos establecidos en las EG-2013 R.D. N° 22-2013-MTC.

En una economía globalizada, donde la producción se divide geográficamente, la densidad y calidad de la infraestructura de transporte es cada vez más relevante. En la actualidad, un déficit de infraestructura, más que nada en transporte, puede llevar a una reducción de la economía, por consiguiente, a un ahogamiento de la misma. Por

otro lado, una red de infraestructura eficiente, conectada y coherente, aumenta la competitividad local ya que conlleva a una reducción de los costos generalizados, haciendo más fáciles intercambios comerciales y perfeccionando la economía nacional (MTC, 2020, p.7).

En el Perú la red vial está estructurada en tres niveles: “La red vial nacional [RVN]; la red vial departamental; y la red vial vecinal o rural. La RVN lo conforman tres grandes ejes longitudinales y veinte ejes transversales, los cuales tienen como función vincular a las capitales de departamentos y a los principales centros de producción con las ciudades como centros de consumo y puertos marítimos que son puntos del comercio exterior. En la red vial departamental, está comprendida las vías de importancia regional que comunican las capitales de departamentos con las principales ciudades de la región. Por otro lado, la red vial vecinal está conformada por las rutas que conectan a las capitales distritales y centros poblados importantes con la capital de la provincia. En la actualidad la longitud de la red vial existente es de 168,359.2 Km.; de las cuales 27,060.9 Km. (16.1%) corresponde a carreteras nacionales; de éstas, las carreteras pavimentadas ascienden a 21,649.0 Km, equivalente al 80% de la RVN existente a julio del 2019. Por otro lado, 27,505.6 Km. (16.3%) de la red vial existente corresponde a carreteras departamentales, y 113,792.7 Km. (67.6%) corresponde a caminos vecinales” (MTC, 2020, pp. 7-8)

La RVN está comprendida por las carreteras que conectan el ámbito nacional. Es decir, las principales rutas viales que unen departamentos y regiones, como la carretera Panamericana, Longitudinal de la Sierra, Marginal de la Selva, Carretera Central, Interoceánica del Sur y otras carreteras con las mismas características. Al mes de julio del 2019, la RVN consta de 27,060.9 km de vías (Con proyección a ser 28,866.5 Km), de las cuales 21,649.0 Km son vías pavimentadas (80% del total), que pueden ser asfaltadas (14,999.9 km) y soluciones básicas (6,649.1 km); en cambio las vías no pavimentadas ascienden a 5,411.9 Km, que representan un 20% de la RVN (MTC, 2019, p.8).

En cuanto a la superficie de la capa de rodadura de la red vial nacional pavimentada, el 82.3% está en buen estado, por otro lado las carreteras no pavimentadas que

constituyen el 20.0 % del Sistema Nacional de Carreteras, solo el 13.8% se encuentran en buen estado, y el 86.2% de las superficies de rodadura aun cuando se encuentren afirmadas, se deterioran rápidamente por efecto del tránsito y las condiciones climáticas, formándose baches, ahuellamiento y emisión de polvo; sumado a esto la ineficiente inversión de los gobiernos y la mala calidad de materiales que se emplean en la estructura de los pavimentos repercute en un deficiente nivel de servicio, llegando incluso a suspenderse el tránsito durante las épocas de lluvias, como en el caso de las carreteras no pavimentadas en zonas de la Costa, Sierra y Selva (MTC, 2019, p.5).

Tabla 1  
*Infraestructura vial, según jerarquía y superficie de rodadura*

SUPERFICIE DE RODADURA	SISTEMA NACIONAL DE CARRETERAS (KILÓMETROS)							TOTAL	
	Nacional		Departamental		Vecinal				
<b>TOTAL</b>	<b>28,866.5</b>	<b>16.5%</b>	<b>32,199.0</b>	<b>18.4%</b>	<b>113,933.1</b>	<b>65.1%</b>	<b>174,998.5</b>	<b>100%</b>	
<b>1. RED VIAL EXISTENTE</b>	<b>27,060.9</b>	<b>16.1%</b>	<b>27,505.6</b>	<b>16.1%</b>	<b>113,792.7</b>	<b>67.6%</b>	<b>168,359.2</b>	<b>96.2%</b>	
<b>Pavimentada</b>	21,649.0	80.0%	3,623.1	13.0%	1,906.2	2.0%	27,178.3	16%	
<b>No pavimentada</b>	5,411.9	20.0%	23,882.5	87.0%	111,886.6	98.0%	141,180.9	84%	
<b>2. PROYECTADA</b>	<b>1,805.5</b>	<b>26.5%</b>	<b>4,693.4</b>	<b>71.3%</b>	<b>140.4</b>	<b>2.1%</b>	<b>6,639.32</b>	<b>3.8%</b>	

Fuente: MTC – Oficina de estadística, 2019

De acuerdo a la red vial departamental [RVD], que son carreteras que conectan la capital de un departamento con sus provincias, presentan carreteras en distintos grados de conservación y tipos de capa de rodadura (afirmado, asfaltado, sin afirmar y trocha). La RVD comprende alrededor de 27,505.6 Km (Con proyección a ser 32,199.0 Km), de las cuales las carreteras asfaltadas ascienden a 3,623.1 km que conforman el 13% del total de la RVD. En cuanto a las vías no pavimentadas estas ascienden a 23,882.5 Km contemplando un 87 % del total de la RVD (MTC, 2019, p.10).

Según PERUCÁMARAS (2020) solo el 13,3% de la red vial regional norte está pavimentado, que equivale a 587.4 kilómetros, de un total de 4,426.4 kilómetros, evidenciando una gran brecha en infraestructura vial en esta parte del territorio peruano. En tanto a las regiones con mayor porcentaje de carreteras pavimentadas se refiere, Lambayeque cuenta con 30,9% de estas y las regiones con menos carreteras

pavimentadas son La Libertad con 5,5% y Cajamarca con un 3,6%. En la Región Norte existen 30,763.9 kilómetros de carreteras sin pavimentar, que representa el 84,2% de su red vial, lo que provoca la necesidad de mayores esfuerzos en inversión pública y privada. Del total de carreteras sin pavimentar en esta red, el 53,8% son afirmados, el 27,8% sin afirmar y el 18,4% son trochas carrozables. Las regiones con más carreteras afirmadas son La Libertad con 73,9% y Cajamarca con 64,6%, y las que tienen mayor cantidad de trochas son Lambayeque con 62% y Piura con un 32,6%.

En Cajamarca la red vial departamental, en cuanto a carreteras no pavimentadas se refiere, 4382.5 km se encuentran en estado de afirmado, 1795.8 km sin afirmar, y unos 5805.8 km en estado de trocha. Además, cabe recalcar que solo el 3,6% de la Red Vial Regional está pavimentado, de un total de 888.8 kilómetros. En tanto en lo que respecta a la Red Vial Vecinal o Rural, solo el 0,3% se encuentra pavimentado, de 12,023.8 kilómetros”, de las cuales gran parte se encuentran en estado regular a malo ya sea por lo accidentado del lugar, por fuertes precipitaciones, o por las malas condiciones de los suelos predominantes en los tramos, además de la escasa intervención de los gobiernos en este tipo de proyectos (PERUCÁMARAS, 2020, p. 6).

La Red Vial Vecinal [RVV] en Cajamarca, está conformada por carreteras del ámbito local, cuyo fin es comunicar las capitales de provincia y capitales de distritos con los centros poblados. Estas constituyen alrededor de 113,792.7 km (Registradas y No Registradas), proyectado a ser 113,933.1 km de la longitud total de la red. Por otro lado, solo el 1.7 % de vías están pavimentadas y el 98.3 % no pavimentadas lo que evidencia una enorme brecha en cuanto a infraestructura de transporte que estas a su vez en su mayoría se encuentran en mal estado debido a la inestabilidad de los suelos que presentan (MTC, 2019, p.11).

La operatividad de los proyectos de infraestructura vial a largo plazo está sujetos a la calidad de los suelos; la mala calidad de estos puede crear problemas significativos en las estructuras de los pavimentos, por tal razón desde hace algunos años se ha contemplado realizar el mejoramiento de estos suelos empleando diferentes técnicas de estabilización, en base a diversos materiales, como cales, cementos, aditivos, emulsiones, enzimas. A pesar de que ya se han realizado este tipo de investigaciones,

también se ha observado que cada caso tiene resultados particulares diferentes al tipo de suelo de la región en estudio. El comportamiento de los suelos influye en el comportamiento de la estructura de los pavimentos, por lo que resulta imprescindible conocer si las propiedades y características de éste son las apropiadas, si no es el caso se adoptan métodos de mejoramientos denominados estabilización de suelos como por ejemplo la adición de materiales cementantes o la inclusión de algunos materiales reciclables como agentes estabilizantes (Jara, 2014, p. 13).

Rodríguez Rondón y Aguirre (2006) han estudiado como la adición de ciertos materiales empleados como estabilizadores de suelos permiten mejorar algunas de sus propiedades como las de resistencia, además disminuyen los costos y efectos ambientales, sobre todo si estos materiales provienen de subproductos industriales o de reciclaje, y se actualicen las técnicas de estabilización, modificación o mejoramiento de los suelos a través de la inclusión de materiales alternativos; uno de estos materiales son el caso de los residuos de construcción que ha calado de manera satisfactoria su reutilización en países como Japón, EE.UU., Bélgica, Holanda, Reino Unido, entre otros, y han elaborado normas, reglamentos con algunas recomendaciones para tal fin, las cuales se orientan a la gestión de RC teniendo un efecto positivo para el medio ambiente, además de obtener resultados beneficiosos en la economía y en la productividad de los proyectos de construcción.

En el Perú según el Ministerio del Ambiente (2019) sobre la generación de residuos sólidos municipales a nivel nacional en la década anterior era 12,986 t/diarias, equivalente a 4,74 millones de toneladas anuales; de los cuales el 73,7% era recolectado por los servicios municipales y solo el 19,7% del total se disponía en rellenos sanitarios, debido a estas condiciones se generaban graves problemas de sanidad pública y contaminación ambiental, por lo que llevo al Consejo Nacional del Ambiente [CONAM] a elaborar y aprobar el Plan Nacional de Gestión Integral de Residuos Sólidos, estableciendo estrategias y actividades con el fin de mejorar las condiciones de la gestión y manejo de residuos sólidos a nivel nacional. Los resultados de la gestión integral de residuos sólidos en los últimos años muestran que se generaron 7,5 millones de toneladas de residuos sólidos municipales, de los cuales menos del 50% fueron dispuestos adecuadamente en rellenos sanitarios, lo que demuestra que, si

bien se ha dado un avance en la gestión integral de residuos sólidos, los problemas de contaminación ambiental y de salud pública relacionados a estos, aún están presentes en nuestro país, siendo el principal problema del manejo de residuos sólidos en el Perú la escasez de lugares adecuados destinados a su disposición final.

Los residuos de construcción en el Perú representa el 3,58% del total de residuos sólidos y al no existir una cultura que promueva el reciclaje ni estudios relacionados a la caracterización de los mismos, la situación ha empeorado en los últimos años, puesto que el país ha prestado más atención al tratamiento y eliminación de residuos domésticos, dejando de lado los residuos de construcción, que seguirán siendo vertidos al medio ambiente sin mecanismos de gestión y de forma ilegal poniendo en peligro la calidad del medio ambiente (MINAM, 2018, p. 03).

Según Bazán (2018) en el Perú, los residuos de construcción no reciben la atención suficiente por parte de las autoridades; debido a que no se ha elaborado un plan de gestión y tratamiento de residuos que permita aprovechar los potenciales beneficios que podrían obtenerse de ellos. Además, señala que en muchas ocasiones estos son desechados a través de botaderos no autorizados, lo cual evidencia la inexistencia de controles previos generando así un grado de contaminación ambiental considerable, siendo necesario poner en práctica políticas de reutilización y reciclaje de residuos de construcción.

La construcción, es una de las actividades más importantes dentro de la dinámica del país. A su vez es la que genera altos porcentajes de residuos de construcción, ya sea durante la demolición o la construcción de una obra nueva. Sin embargo, estos residuos todavía tienen una alternativa de poder ser útiles, si se opta por el reciclaje. Este puede ser en la misma obra, haciendo la selección y limpieza del material o puede ser llevada a un punto de acopio para luego tratarla (Sachahuaman,2015, p.13).

Según Carbajal (2018) el crecimiento del sector construcción tiene un impacto positivo en la economía nacional, sin embargo, para el medio ambiente, esto significa el aumento de la explotación de recursos, la generación de emisiones, el incremento en el consumo energético, el aumento de la generación de residuos, entre otros aspectos

que son consecuencia de esta industria, siendo uno de los problemas ambientales derivado de esta actividad la generación de residuos de construcción; las regulaciones en cuanto a los RC en el Perú son recientes, así como los mecanismos para la gestión de los mismos, sin embargo, se generan grandes cantidades de estos residuos diariamente a nivel nacional, siendo importante proponer alternativas para minimizar, reaprovechar y reciclar este tipo de materias.

Según el Gobierno Regional de Cajamarca [GORECAJ] (2019) en la región Cajamarca se genera 390 toneladas al día de residuos sólidos, de las cuales alrededor del 50% de esta producción, se registra en la provincia capital. En promedio, cada habitante, genera 500 gramos de residuos; en la provincia capital de Cajamarca se estima que la generación de residuos sólidos es de 184 ton/día dentro de los cuales en gran parte están contemplados los residuos provenientes de la construcción. Aproximadamente el 30% de residuos sólidos se disponen en rellenos sanitarios y un 70% son dispuestos en botaderos a cielo abierto ocasionando muchos impactos negativos al medio ambiente. Además, Cajamarca no cuenta con un programa de recolección selectiva de residuos sólidos y la recuperación no se realiza formalmente, por lo que sería una buena práctica la reutilización de los residuos de construcción como una manera de menguar la contaminación ambiental en la ciudad.

La ciudad de Cajamarca en los últimos años no ha sido ajena al crecimiento en la industria de la construcción, y a pesar que este sector es uno de los más importantes en el desarrollo económico de la población, es pertinente mencionar que también genera una gran cantidad de residuos provenientes de esta industria; además el crecimiento de la informalidad en este rubro agudiza aún más esta situación; y es un problema latente para el medio ambiente a falta de una adecuada gestión del manejo de los mismos y del poco interés por parte de los gobiernos para invertir en proyectos de gestión ambiental; como por ejemplo la creación de escombreras que son instalaciones para albergar los residuos de las actividades de construcción y demolición; a falta de estas se genera que los residuos de construcción sean dispuestos en botaderos a cielo abierto o en la ribera de los ríos sin tratamiento previo, ocasionando gran contaminación al ecosistema; por tal razón es que la reutilización de

estos residuos se vuelve una práctica adecuada para contribuir con la mitigación de los impactos negativos al medio ambiente.

Por otro lado, las vías de comunicación son de vital importancia para el desarrollo económico de la región ya sea a través del transporte de carga o de pasajeros, pero debido a que en Cajamarca la red vial departamental, solo el 3,6% de la red vial está pavimentado, en tanto en lo que respecta a la red vial vecinal o rural, solo el 0,3% se encuentra pavimentado, la gran mayoría de la red se encuentra como vías afirmadas, sin afirmar y como trochas carrozables, de las cuales en su mayoría se encuentran en estado regular a malo debido a lo accidentado del lugar, por factores climáticos, o por las pésimas condiciones de los suelos, reflejado en la mala calidad de los materiales provenientes de la extracción de canteras naturales que no cumplen con los requisitos mínimos de calidad y que deben ser mejorados para satisfacer dichas exigencias; pero a pesar de eso se emplean como capas de afirmado generando un deterioro prematuro en las vías que estas a su vez ocasionan una gran problemática para el transporte terrestre. Debido a esto es muy importante mejorar las propiedades físico mecánicas de los materiales granulares con el fin de proporcionar adecuadas condiciones a la estructura de los pavimentos.

Barrera y Olmedo (2015), en su tesis denominada: “Utilización de residuos de construcción y demolición [RCD] ligados con materiales cementantes en pavimentos”, tuvo como objetivo verificar el potencial uso del material en la base o sub-base de la estructura del pavimento según las especificaciones del Instituto Nacional de Vías, realizando una mezcla de material de 3,5kg, con un contenido granulométrico de 3/4”, 3/8”, No.4, No.10, No.40, No.200 para cada ensayo, realizaron 4 probetas por cada porcentaje de cemento utilizado, es decir para el 0%, 1%, 2%, 5% de cemento y se ensayaron en un laboratorio de suelos encontrando como resultados: Que las características de los residuos de construcción y demolición no cumplió con la totalidad de requisitos que sugiere INVIAS para ser utilizado en base y sub-base del pavimento; específicamente el ensayo de desgaste en la máquina de los Ángeles, concluyendo que el que no cumpliera con los requisitos pudo deberse al mucho contenido de material cerámico, o que estos provienen de una mala construcción, por

lo que recomiendan hacer una mejor selección para que el agregado cumpla con este requisito y sea apto para aplicarlo en los pavimentos. (pp. 28, 55)

Muñoz y Ubany (2018), en su artículo científico denominado: “Evaluación de las propiedades de residuos de construcción y demolición de concreto para su uso en la elaboración de sub-bases granulares”, publicado en la revista ACTIVA, tuvo como objetivo analizar las propiedades de los residuos de construcción y demolición de concreto para ser utilizado en sub base granular del pavimento, realizaron un proceso de muestreo de material RCD de concreto para luego ser triturados; recolectaron dos muestras de 400 g para su análisis granulométrico según las normas de INVIAS, 2012 obteniendo como resultado: Que dicho material tiene una buena gradación para ser utilizada como sub-base granular tipo 2, aunque posee un leve porcentaje superior de material grueso granular en el tamiz de 25mm, lo cual sobrepasa lo establecido en la norma INVÍAS 320 para dicho tamiz, se concluye que los RCD investigados cumplen los requisitos establecidos de granulometría según la norma INV-E-300 y se pueden utilizar como capa de sub base de un pavimento. (pp. 83, 88)

Jimenez y García (2016), en su tesis denominada: “Aprovechamiento de los RCD en proyectos de construcción y conservación de pavimentos urbanos”, tuvo como objetivo generar un procedimiento técnico que permita establecer directrices para el uso óptimo del Pavimento Asfáltico Reciclado (RAP) en proyectos viales urbanos, realizaron actividades de aprovechamiento de los materiales procedentes del fresado de carpetas asfálticas RCD RAP, donde se reutilizó estos materiales adicionando emulsión asfáltica de rotura lenta CRL-1, en un porcentaje de 5.6%, y cemento portland en un porcentaje de adición del 3%, valores obtenidos a partir de la ejecución de ensayos de laboratorio, encontrando como resultado: Que el material reciclado utilizado para la elaboración del fresado estabilizado no cumple con las especificaciones técnicas de INVIAS aplicables para pavimento reciclado, ya que este posee una distribución de tamaños variables, que no siguen un comportamiento predecible, concluyen que cuando se haya realizado reutilización de materiales con RCD RAP, se debe tener en cuenta que para que el procedimiento de reciclaje y estabilización con materiales bituminosos sea satisfactorio, es importante tener en

cuenta factores tan determinantes como el clima, los equipos utilizados, la compactación de materiales, así como los procesos de curado. (pp. 49, 80)

Contreras y Herrera (2015), en su tesis denominada: “Mejoramiento del agregado obtenido de escombros de la construcción para bases y sub-bases de estructura de pavimento en Nuevo Chimbote Santa Ancash”, cuyo objetivo fue mejorar el agregado obtenido de escombros de la construcción para bases y sub-bases de estructuras de pavimentos, realizaron el estudio de una base granular mejorada utilizando la fracción gruesa y fina de los residuos de construcción y demolición mezclados con un suelo natural proveniente de la cantera “San Pedrito” donde analizaron las propiedades físicas y mecánicas del material mezclado según los parámetros que rigen las EG-2013 para bases y sub bases, encontrando como resultado: Que las propiedades físicas de los residuos de construcción y demolición mostraron un comportamiento similar al agregado natural, en cuanto a las propiedades mecánicas, estas se encuentran por debajo de los parámetros para ser usado como material de base, pero si se puede aplicar como material de sub-base, por lo que concluyen que, si se mejoran las propiedades del agregado obtenido de los residuos de construcción, para bases y sub bases, se logra aumentar la resistentes de las propiedades mecánicas del material por lo cual se puede proponer como material de base y sub base en proyectos de pavimentación. (pp. 57, 69)

Tafur (2015), en su tesis “Estudio del comportamiento físico mecánico del concreto diseñado y elaborado con agregado grueso reciclado en la ciudad de Cajamarca”, cuyo objetivo fue analizar y comparar las propiedades físico mecánicas de un concreto elaborado con agregados naturales y el otro diseñado con agregado grueso obtenido de concreto reciclado en la provincia de Cajamarca, realizó probetas cilíndricas de concreto de 4” x 8”, con agregado grueso natural y con agregado grueso reciclado. Para los diferentes casos elaboró 21 probetas; de las cuales 7 fueron para un curado de 7 días, las otras 7 para un curado de 14 días, y las 7 últimas para un curado de 28 días, finalmente fue sometido al ensayo de compresión para determinar su resistencia encontrando como resultado: Para los diferentes ensayos, el concreto elaborado con agregado grueso reciclado tiene una mayor resistencia, en cuanto a la variación a los 28 días es de 4.15% lo que indica que la resistencia es mayor que la del concreto

diseñado con agregado natural, también obtiene que el porcentaje de agregado fino es menor en la elaboración del concreto con agregado grueso reciclado, por lo que concluye que el agregado grueso reciclado influye positivamente en la resistencia de un concreto nuevo. (pp. 69-73).

**Las carreteras no pavimentadas en el Perú**, están constituidas por más de 78,000 km. de carreteras, y estas a su vez constan de tres grupos: Como son las carreteras de enlace longitudinal, las carreteras del interior y las vías de enlace. En su mayoría la red vial existente son carreteras afirmadas construidas a base de materiales extraídos de canteras naturales, las que forman parte de las carreteras sin asfaltar y que se diferencian por tres tipos: “Las carreteras que pertenecen a la red nacional, los caminos secundarios y vecinales y, las trochas carrozables” (Gutiérrez, 2018).

**Las trochas carrozables**, son vías transitables, que no alcanzan las características mínimas para ser considerada como una carretera, por lo general tienen un IMDA menor a 200 veh/día. Su capa de rodadura debe tener como mínimo de 4,00 m de ancho, en cuyo caso se construirá ensanches denominados plazoletas de cruce, por lo menos cada 500 m. La superficie de rodadura puede ser afirmada o sin afirmar (MTC, 2013)

**La red de caminos, como carreteras afirmadas**, es la base del desarrollo económico de los pueblos, a través del servicio de transporte a la población del medio rural. Las condiciones físicas, como el cruce de ríos, y las pésimas condiciones de estas vías, por falta de drenajes, perturban el uso eficiente de las formas tradicionales del transporte. Los accidentes y las ineficacias de estas vías tienen un costo muy significativo para los pueblos. Además, en estos sectores falta experiencia y capacidad para lograr un sistema de modalidades que permita combinar la explotación agrícola, con el transporte motorizado hasta el mercado (Valdivia, 2015, p.3).

**La inestabilidad de los suelos**, son en gran parte los problemas de mayor importancia que se manifiestan en las carreteras sin asfaltar; por lo cual para resarcir esta problemática se usan diversos métodos para estabilizar estos suelos; como por ejemplo para estabilizar los suelos, se usan productos químicos no tóxicos los cuales

proporcionan al suelo un mejor comportamiento frente a las cargas del tránsito; en la actualidad existen diversas empresas que se dedican a la producción de estos productos químicos, con la finalidad de promocionar los beneficios de los mismos y como estos productos pueden reducir los costos si se usan como estabilizadores (Gutiérrez, 2010, p.7).

**La estabilización de suelos**, consiste en mejorar las propiedades de los suelos, tales como su resistencia, compresibilidad, estabilidad, permeabilidad, y durabilidad, que son las propiedades más importantes al momento de estabilizar un suelo. Para elegir algún tipo de producto con el objetivo hacer un mejoramiento al suelo los estudios deben estar orientados a la mejora de sus propiedades (Angulo, 2016, p.11).

**Aplicación de estabilización de suelos**, se aplican métodos de estabilización de suelos, cuando estos no cumplan con los requisitos mínimos de calidad para ser empleados en obras de ingeniería civil, cuando no puedan ser empleados en condiciones naturales, o no puedan ser eliminados o reemplazados por otro. Los productos para estabilizar deben estar fabricados en base a enzimas o compuestos multienzimáticos que trabajen de forma eficiente para beneficiar al medio ambiente (Norma CE. 020, 2006, p.7).

**Estabilizador**, se debe utilizar en el tratamiento de suelos con materiales que contienen materiales o de suelos muy finas como, por ejemplo, en zonas de la selva tropical, en zonas de lluvias torrenciales, zonas pantanosas, etc. Este producto debe tener la característica de poder unirse de manera homogénea con el suelo, además el curado del mismo debe hacerse de acuerdo con las especificaciones técnicas del producto. Los métodos, dosificaciones y pruebas de control, deberán ser verificados por el responsable antes de su empleo (Norma CE. 020, 2006, p.7).

Tabla 2  
*Alternativas de estabilización de suelos*

Material	Mecánica	Tipos de estabilización		
		Con cemento	Con cal	Con emulsión
<b>Grava</b>	Puede ser necesaria la adición de finos para prevenir desprendimiento.	Probablemente no es necesaria, salvo si hay finos plásticos. Cantidad de 2 a 4%.	No es necesaria, salvo que los finos sean plásticos. Cantidad de 2 a 4%.	Apropiada si hay deficiencia de finos. Aproximadamente 3% de asfalto residual.
<b>Arena limpia</b>	Adición de gruesos para dar la estabilidad y de finos para prevenir desprendimientos.	Inadecuada: produce material quebradizo.	Inadecuada: no hay reacción.	Muy adecuada: De 3 a 5% de asfalto residual.
<b>Arena arcillosa</b>	Adición de gruesos para mejorar resistencia.	Recomendable 4 - 8%	Es factible dependiendo del contenido de arcilla.	Se puede emplear de 3 a 4% de asfalto residual.
<b>Arcilla arenosa</b>	Usualmente no es aconsejable	Recomendable 4 - 12%	4 a 8% dependiendo del contenido de arcilla.	Se puede emplear pero no es muy aconsejable.
<b>Arcilla</b>	Inadecuada	No es muy aconsejable. La mezcla puede favorecerse con un mezcla con 2% de cal y luego entre 8 y 15% de cemento.	Muy adecuada. Entre 4 y 8% dependiendo de la arcilla.	Inadecuada.

Fuente: Norma CE. 020, 2006.

*“Manual de Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos, Constituye uno de los documentos técnicos de carácter normativo, que rige a nivel nacional y es de cumplimiento obligatorio por los órganos responsables de la gestión de la infraestructura vial de los tres niveles de gobierno: Nacional, Regional y Local. Tiene por finalidad proporcionar criterios homogéneos en materia de suelos y pavimentos, que faciliten el diseño de las capas superiores y de la superficie de rodadura en carreteras pavimentadas y no pavimentadas, dotándolas de estabilidad estructural para lograr su mejor desempeño en términos de eficiencia técnico – económica; siendo por tanto, una herramienta para el diseño estructural de los pavimentos,*

*tomando en consideración la experiencia, estudio de las características y comportamiento de los materiales, y de acuerdo a las condiciones específicas de los diversos factores que inciden en el desempeño de los pavimentos, como son el tráfico, el clima y los sistemas de gestión vial” (MTC, 2014, p. 11).*

*“Especificaciones Técnicas Generales para Construcción, Es uno de los instrumentos técnicos del manual de carreteras establecidos por el MTC, constituye uno de los documentos técnicos de carácter normativo, el cual estipula los parámetros y las consideraciones para el control de calidad y el proceso constructivo de las obras de infraestructura vial, cuya función es establecer las condiciones, parámetros requisitos, y procedimientos de los trabajos concernientes a obras viales, con el fin de reglamentar los procesos que conlleven a mejorar el control de calidad de los materiales y puedan ser aptos para aplicarlo en obra. Además, nos brinda las normas para la elaboración de los ensayos de materiales que contemplan un afirmado en su sección 301” (MTC, 2013, p. 9).*

**El afirmado**, es una capa compuesta por material granular natural o material procesado que contiene una granulometría específica la misma que funciona como superficie de rodadura en trochas carrozables y carreteras de bajo volumen de tránsito, y está destinada a resistir las carga originadas por el mismo. También se considera como afirmado a una o más capas de material granular seleccionado y compactado provenientes de canteras naturales u otras fuentes que sirve como superficie de rodadura de una carretera, que son obtenidos naturalmente o de procesos aprobados (MTC, 2013, p. 237).

**El material granular**, es un material compuesto principalmente de agregados pétreos y finos cohesivos que se encuentran dispersos en la naturaleza, los cuales son utilizados en diversos trabajos de construcción como por ejemplo para estabilizar los suelos (MTC, 2018).

**El Agregado**, “es un material granular que se encuentra en la naturaleza ya sea arena, grava, o del proceso de la trituración de rocas, usado para la construcción de todo tipo de obras civiles” (MTC, 2013, P.3).

**Los residuos de construcción**, son aquellos residuos generados en las actividades y procesos de construcción, remodelación, demolición, rehabilitación de edificaciones e infraestructura. Las generaciones de residuos en los procesos constructivos se pueden dar de diferentes maneras y en distintos procesos que conforman la totalidad de la obra (Ministerio del Ambiente, 2013).

La clasificación de los residuos de construcción, los RC según su origen y fuente de generación de RC, se clasifican en:

**Materiales de limpieza de terrenos**, son todos aquellos materiales provenientes de la limpieza de terrenos tales como tocones, ramas, arboles (Revista científica Uces, 2007).

**Materiales de excavación**, el material de excavación es normalmente un residuo inerte. En algunos casos se presenta con contaminantes al no responder a un suelo virgen. Son en general, de naturaleza pétreo (tierra, rocas de excavación, materiales granulares (Revista científica Uces, 2007).

**Residuos de obras viales**, compuesto por trozos de losas de concreto de la construcción de caminos, residuos de asfalto y mezclas del pavimento asfáltico, puentes, renovación de materiales (Revista científica Uces, 2007)

**Residuos de construcción nueva, de ampliación o reparación (obra menor)**, según Revista científica Uces (2007) son los que se originan en el proceso de ejecución material de los trabajos de construcción, tanto nueva como de reparación o ampliación. Su origen es diverso, los que provienen de la propia acción de construir y los que provienen de embalajes de los productos que llegan a la obra. Sus características y cantidad son variadas y dependen de la fase del trabajo y del tipo de obra (residencial, no residencial, comercial, industrial, institucional). Del análisis de esta última

clasificación se observa que un amplio segmento de la actividad económica está involucrado en su generación, desde constructores de viviendas individuales a desarrollos comerciales generales, empresas de construcción en general, constructores de caminos y autopistas, pequeños contratistas de remodelaciones y especialistas en excavación, entre otras.

Según su naturaleza, se clasifican en:

**Residuos inertes**, son aquellos que no presentan ningún riesgo de polución del agua, del suelo y el aire. Estos residuos no son peligrosos y no sufren transformaciones de ningún tipo; tampoco son combustibles ni solubles, no presentan una reacción física ni química, no son biodegradables, ni afectan negativamente a otros materiales con los que entran en contacto de forma que puedan dar lugar a contaminación del medio ambiente o perjudicar a la salud humana. En definitiva, son plenamente compatibles con el medio ambiente (Real decreto español, 2001).

**Residuos no peligrosos o no especiales**, son los que pueden ser almacenados o tratados en las mismas condiciones que los residuos domésticos. La característica de no peligrosos es la que define sus posibilidades de reciclaje; se reciclan en instalaciones industriales juntamente con otros residuos (Real decreto español, 2001).

**Residuos especiales**, son los que tienen características que los hacen potencialmente peligrosos tales como sustancias infamantes, tóxicas, irritantes, cancerígenas (Revista científica Uces, 2007).

**La caracterización de los residuos de construcción**, está basada en cuánto residuo se produce, de qué tipo, y si existe un uso secundario o no. Para afrontar este desafío es que se debe conocer dos características importantes del flujo de RC: composición y cantidad. Ambas son elementos esenciales pues ejercen un impacto directo sobre la valoración y elección de las diferentes técnicas de tratamiento y evacuación. Además, el conocimiento de la composición de los RC permite identificar los impactos potenciales al ambiente asociados con su disposición final. Para la disposición en vertedero la composición tiene un impacto directo sobre la densidad conseguida in

situ, que a su vez determinará la capacidad del vertedero y la estimación de la vida útil del mismo. Los datos sobre caracterización se pueden utilizar también para determinar los compuestos químicos potenciales que, probablemente, serán emitidos en forma de lixiviados, cuando las aguas de lluvia se filtren. El propósito fundamental de un estudio de caracterización de RC es proporcionar una información útil que permita al gestor de los mismos valorar las alternativas viables para la reutilización, el reciclaje y la disposición final de los mismos (Revista científica Uces, 2007).

**La reutilización de los residuos de construcción**, según Cuchí y Sagrera (2017) la utilización y el reciclaje de los residuos de la construcción puede ser una solución a la contaminación ambiental y de esta forma lograr la sostenibilidad en el sector construcción. De esta manera podríamos tener a los residuos de construcción como un recurso y no como una denominación de residuo. Es importante la necesidad de ordenar y mejorar la actual gestión y valoración de los residuos urbanos que todavía de forma mayoritaria van a parar a los vertederos controlados e incontrolados. Las opciones ambientales más recomendables son la reutilización y el reciclaje.

**El potencial uso del material RC sus ventajas y desventajas**, se dice que el agregado o material reciclado de RC proveniente de escombreras tiene diversas ventajas y usos, como también posee sus desventajas. Este material es útil, en cuestiones económicas puede reducir costos en cuanto a su producción y utilización en obras civiles, el aprovechamiento de este material beneficiaría al medio ambiente ya que no se almacenará en grandes cantidades, causando daños al medio ambiente y afectando a la ciudadanía, de igual manera reduciría el consumo de tiempo y energía en transporte y producción de materiales, por otro lado haciendo el buen uso de este material se puede aprovechar en gran variedad de proyectos, como ladrillos, como agregados para base o sub base, entre otros, y aplicando conocimientos e implementando aditivos o materiales ligantes a este agregado, se puede tener una mayor resistencia. El uso de este material causaría menos impacto ambiental, porque se evitaría usar el agregado natural que es una fuente agotable y al momento de estudiar el material o procesarlo el agregado RC tendría una manipulación más limpia que el agregado natural. Lastimosamente el RC posee unas características de absorción de agua altas, el desgaste de este material también es alto si se utiliza como agregado solamente, ya que

sus partículas después de la demolición pierden resistencia, debido a que recibieron impactos fuertes (Barrera y Olmedo, 2015).

**Los residuos de construcción y su procedencia**, estos residuos se componen de diferentes materiales según el tipo de proyecto, por ejemplo, para la industria de la construcción se establecen algunos tipos de materiales como parte de los RC, así como mezclas asfálticas, ladrillos de concreto sin acero, restos de la elaboración de concretos, tejas, cerámicos, vidrios, porcelanatos, etc., que al ser seleccionados y procesados se convierten en agregado reciclado (Mercante, 2007).

**Agregado reciclado**, es un material graduado según especificaciones resultante del procesamiento de materiales de construcción recuperados y complementados con otros. También se entiende por agregado reciclado a todo aquel agregado que resulte del proceso de selección y tratamiento de materiales usados previamente en la construcción que son materiales obtenidos de agregados pétreos generados como residuo durante los procesos de construcción y demolición, tales como los residuos de concreto, áridos naturales, triturados y procesados que dan lugar al agregado reciclado de concreto. El agregado reciclado no se considera un material homogéneo, pues su composición estará en función principalmente del mortero presente en el residuo (MTC, 2018).

**Utilización de los agregados reciclados obtenidos del concreto**, según Contreras y Herrera (2015), El uso del concreto triturado como material para la elaboración de nuevos concretos y la elaboración de capas estructurales de los pavimentos como afirmados, bases y sub bases granulares se implementan a partir de la problemática de utilizar grandes áreas de terrenos para depositar estos residuos además del aumento de la demanda de materiales naturales para la construcción; esto motivó el estudio de las propiedades de dicho material con el objetivo de emplearlo en la elaboración de nuevos materiales especialmente en reemplazar los agregados naturales en concretos. La composición de los residuos de construcción de concreto dependerá del agregado utilizado para su producción, puesto que más del 75 % del total del concreto está constituido por este, y el resto lo componen el cemento, silicatos y aluminatos cálcicos

hidratados o hidróxidos de calcio. Principalmente los agregados procedentes de concreto triturado utilizados son el agregado grueso para concretos, agregado fino para morteros y al combinar estas dos fracciones se utilizan para capas estructurales de pavimentos, donde solo se permite el uso de hasta un 20 % de sustitución de agregado natural por agregado reciclado proveniente de la trituración de concretos según la normativa española UNE-EN 933-11:2009/AC:2010.

La necesidad de contar con vías de comunicación de mejor calidad, y mejores condiciones de transitabilidad vehicular, ha llevado a la investigación de nuevos métodos para estabilizar los suelos, mejorando el comportamiento de las propiedades físico mecánicas de los materiales encontrados en estado natural, en base a productos como cal, cemento, mezclas asfálticas, así como también con la inclusión de algunos materiales reciclables como agentes estabilizantes; uno de estos materiales son los residuos de construcción de concreto, que debido a los volúmenes importantes que se generan y no reciben la atención debida a través de un plan de gestión y tratamiento de residuos que permita aprovechar los potenciales beneficios que estos podrían aportar, y que en muchas ocasiones son dispuestos en vertederos no autorizados sin controles previos lo que genera un alto grado de contaminación; se hace una buena práctica la reutilización de los mismos. En tal sentido, esta investigación estudia una propuesta de mejoramiento de las propiedades físico mecánicas del material granular con la adición de 4 % y 6 % de residuos de construcción generados en la ciudad de Cajamarca, como una alternativa de mejoramiento del material para lograr satisfacer los requisitos de calidad de los afirmados según las EG-2013, contribuyendo con el planteamiento de posibles soluciones de mejora en la calidad de los agregados y en la reducción del impacto ambiental generado por los residuos de construcción mediante su reutilización.

## 1.2. Formulación del problema

¿Cómo influye la adición de 4% y 6% de residuos de construcción en el mejoramiento de las propiedades físico mecánicas del material granular para su uso en afirmados según las EG-2013?

## 1.3. Objetivos

### 1.3.1. Objetivo general

Determinar la influencia de la adición de 4% y 6% de residuos de construcción en el mejoramiento de las propiedades físico mecánicas del material granular para su uso en afirmados según las EG-2013.

### 1.3.2. Objetivos específicos

- ✓ Determinar las propiedades físicas (granulometría, límite líquido e índice de plasticidad) y propiedades mecánicas (abrasión y CBR) del material granular con la adición de residuos de construcción en porcentajes de 4% y 6% y de la muestra patrón (muestra inalterada).
- ✓ Comparar los resultados obtenidos del análisis de la mezcla del material granular con residuos de construcción, con los requisitos de calidad para afirmados según sección 301 de las EG-2013.
- ✓ Comprobar si las propiedades físicas (granulometría, límite líquido e índice de plasticidad) y propiedades mecánicas (abrasión y CBR) del material granular con adición de 4% y 6% de residuos de construcción, satisfacen los requisitos mínimos de calidad que deben cumplir los materiales para afirmados según sección 301 de las EG-2013.

## 1.4. Hipótesis

### 1.4.1. Hipótesis general

La adición de 4 % y 6 % de residuos de construcción influye positivamente en el mejoramiento de las propiedades físico mecánicas del material granular, puesto que mejoran la granulometría del material e incrementa su resistencia a la abrasión y CBR del mismo hasta en 4 % al adicionar 4 % de RC y hasta en un 8 % con la adición de 6 % de RC.

## CAPÍTULO II. METODOLOGÍA

### 2.1. Tipo de investigación

#### 2.1.1 Enfoque

Esta investigación tiene un enfoque cuantitativo, según la Revista Científica ATENAS (2016) el enfoque cuantitativo es aquel que parte de identificar y formular un problema científico, luego se hace una revisión de la información sobre el tema, con la cual se plasma un marco teórico referencial; se formula una hipótesis de investigación; se precisan variables de estudio e indicadores que dan lugar a instrumentos de investigación, con los cuales se obtienen datos y son procesados con recursos estadísticos cuantitativos con el fin de confirmar o refutar la hipótesis inicialmente establecida. Al igual que en esta investigación se inició con el planteamiento de un problema y la búsqueda de información del mismo, por lo que se planteó una hipótesis y se definió las variables e instrumentos a través de los cuales se realizó la recolección de datos para su posterior análisis en base a resultados numéricos de los ensayos realizados en laboratorio, para determinar si con la adición de residuos de construcción generados en la ciudad de Cajamarca se mejoran las propiedades físico mecánicas del material de cantera y comparar si satisfacen los parámetros de un afirmado según las EG-2013.

#### 2.1.2 Alcance

Esta tesis es una investigación correlacional, de acuerdo a Ramos (2020) nos indica que una investigación correlacional parte con la propuesta de 2 o más variables en donde se aplican procesos estadísticos que buscan comparar los resultados, partiendo de una hipótesis previa, a partir de la cual se genera y se estudian variables o factores que están relacionados con el tema en cuestión; de igual manera en esta investigación se trata de determinar el comportamiento de las propiedades físico mecánicas del material granular de cantera ante la adición de residuos de construcción generados en la ciudad de Cajamarca a partir de procesos estadísticos que nos ayudaran a comparar y determinar si estos RC

pueden mejorar las propiedades físico mecánicas del material granular para afirmado y de esta manera ser una alternativa de solución en el empleo de afirmados para carreteras de bajo volumen de tránsito.

### 2.1.3 Diseño

El presente trabajo es una investigación experimental, según Murillo (2010) en la investigación experimental se manipula una o más variables de estudio, que consiste en hacer un cambio en el valor de una variable (variable independiente) y observar su efecto en otra variable (variable dependiente), con la finalidad de experimentar el por qué o las causas por las cuales se presenta un acontecimiento o situación. Pues dicha tesis está orientada específicamente al estudio de suelos de un material para afirmado de carreteras. Este trabajo se enmarca en la línea de investigación de tecnologías emergentes y en el estudio y desarrollo de Nanotecnologías, Nanomateriales y Modelado de materiales, el cual se enfoca en el análisis del comportamiento o variación de las propiedades físico mecánicas (variable dependiente) que puede presentar el material de cantera ante la adición de RC (variable independiente) obtenidos en la ciudad de Cajamarca. Para el material adicionado no se ha considerado realizar algún estudio específico complementario, además cabe recalcar que dicho estudio se realiza a nivel de laboratorio.

## 2.2. Variables de estudio

### Independiente

Material granular para afirmado con la adición en peso de RC en % 4% y 6%

### Dependiente

Propiedades físicas

- ✓ Granulometría
- ✓ Limite líquido
- ✓ Índice de plasticidad

### Propiedades mecánicas

- ✓ Abrasión
- ✓ CBR

Tabla 3  
*Operacionalización de variables*

Variables	Definición	Indicador	Unidad
<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Variable independiente</b></li> </ul>			
<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Material granular para afirmado con la adición en peso de RC en % de 4 % y 6%</b></li> </ul>	Es la combinación del Material de cantera con RC generados en las actividades y procesos de construcción (Ministerio del Ambiente, 2013).	Cantidad en porcentaje de (RCD).	%
<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Variables Dependientes</b></li> </ul>			
<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Propiedades físicas</b></li> </ul>	Son aquellas propiedades que están relacionadas con el comportamiento de los materiales frente a acciones externas. (MTC, 2018)	Granulometría	%
		Limite líquido	%
		Índice de plasticidad	%
<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Propiedades Mecánicas</b></li> </ul>	Son aquellas propiedades que están relacionadas con el comportamiento de los materiales cuando se someten a esfuerzos. (MTC, 2018)	Abrasión de los ángeles	%
		CBR	%

### 2.3. Población y muestra

**Población:** De acuerdo a las normas del MTC descritas en la tabla 4 que establece la cantidad de especímenes para cada tipo de ensayo, se adoptó 1, 3 y 4 especímenes según el ensayo que corresponda tanto para el material de cantera como muestra patrón, así como para cada muestra con la adición de 4% y 6% de residuos de construcción, ensayándose un total de 45 especímenes.

Tabla 4  
*Población y muestra para ensayos del material de afirmado*

Descripción de ensayo	Norma	N° de muestras por ensayo (Especimen)	N° de ensayos a realizar	Total de muestras ensayadas
Contenido de Humedad	ASTM D2216/ MTC E 108	3	1	3
Análisis Granulométrico por Tamizado	ASTM D422/ MTC E 204	1	3	3
Límites de Consistencia	ASTM D4318/ MTC E110-111	3	3	9
Abrasión de los ángeles	ASTM C 131 /MTC E 207	3	3	9
Proctor Modificado	ASTM D 1557/ MTC E115	4	3	12
CBR	MTC E132 / ASTM D 1883	3	3	9
<b>TOTAL</b>				<b>45</b>

**Muestra:** Igual a la población, tomada de acuerdo a las normas descritas en la tabla 4 para cada ensayo, así se tomó 1, 3 y 4 especímenes según ensayo correspondiente tanto para el material granular proveniente de la cantera Don Lucho I como muestra patrón, así como la mezcla del mismo con residuos de construcción en porcentajes de 4% y 6%.

### 2.4. Técnicas e instrumentos de recolección y análisis de datos

El método utilizado para esta investigación es la observación directa en laboratorio, se observó y se tomó nota de cada uno de los ensayos realizados, siguiendo los lineamientos establecidos en las normas del Manual de Ensayo de Materiales del MTC.

Los instrumentos utilizados para esta investigación son las normas establecidas por el MTC y protocolos donde se registraron y procesaron los ensayos realizados para poder estudiar las propiedades físico mecánicas de la muestra patrón (material de cantera), así como de la combinación con los RC. Se realizaron los ensayos especificados en la tabla 4, siguiendo los lineamientos establecidos en dichas normas. A continuación, se describen los instrumentos utilizados en esta investigación.

**Especificaciones granulométricas**, según las EG (2013) los materiales granulares que conformaran las capas de afirmado, deben cumplir con rangos granulométricos especificados. Las especificaciones granulométricas vigentes en el Perú son las Especificaciones Técnicas Generales para Construcción de Carreteras EG-2103, del Ministerio de Transportes, Comunicaciones, Vivienda y Construcción, Oficina de Control de Calidad. En la tabla 5 se listan los rangos máximos y mínimos para materiales de afirmado.

Tabla 5  
*Uso granulométrico para afirmados*

Tamiz	Muestra	Afirmado (% que pasa)	
	Abertura (mm)	A-1	A-2
2"	50,000	100	---
1 ½"	37.500	100	---
1"	25,000	90-100	100,0
¾"	19.000	65-100	80-100
3/8"	9,500	45-80	65-100
Nº4	4,750	30-65	50-85
Nº10	2,000	22-52	33-67
Nº40	0,425	15-35	20-45
Nº200	0,075	5-20	5-20

Fuente: EG-2013, Ministerio de Transportes, Comunicaciones, Vivienda y Construcción.

Tabla 6  
*Ensayos de calidad de agregados para afirmados*

Ensayos	Afirmado
Análisis Granulométrico por Tamizado	✓
Límites de Consistencia	✓
Abrasión	✓
Proctor Modificado	✓
CBR	✓

Fuente: EG-2013, MTC, VCOCC.

Según las EG (2013) Los agregados utilizados para ser empleados en afirmados de trochas carrozables deberán satisfacer los requisitos de calidad establecidos en la tabla 6.

Tabla 7:  
*Especificaciones técnicas para materiales empleados en afirmados de carreteras*

Ensayo	Norma	Afirmado
Límite Líquido, %	ASTM D 4318/ MTC E 110	35% máx.
Índice Plástico, %	ASTM D 4318/ MTC E 111	4 a 9 %
Abrasión Los Ángeles, %	ASTM C 131 /MTC E 207	50% máx.
CBR al 100% de la M.D.S. y 0.1” de penetración	ASTM D 1883/ MTC E 132	40% mín.

Fuente: EG-2013, MTC, VCOCC.

✓ **Propiedades físicas:**

- ✓ **Contenido de humedad norma MTC E 108 – ASTM D 2216**, Esta norma nos permite conocer los lineamientos a seguir para poder determinar el contenido de humedad de un suelo en base al peso de agua contenida en una porción de suelo, y al peso de las partículas sólidas (Manuel de Ensayos de Materiales MTC, 2016).

Tabla 8  
*Cantidad mínima de material húmedo para ensayo de contenido de humedad*

Tamaño máximo de partículas	Tamaño o número de tamiz estándar	Muestra mínima de material recomendada para contenido de humedad	Muestra mínima de material recomendada para contenido de humedad
<b>2 mm o menos</b>	2,00 mm (Nº 10)	20 g	20 g *
<b>4,75 mm</b>	4,760 mm (Nº 4)	100 g	20 g *
<b>9,5 mm</b>	9,525 mm (3/8")	500 g	50 g
<b>19,0 mm</b>	19,050 mm (3/4")	2,5 kg	250 g
<b>37,5 mm</b>	38,1 mm (1 1/2")	10 kg	1 kg
<b>75,0 mm</b>	76,200 mm (3")	50 kg	5 kg

Fuente: Norma MTC E 108.

Cálculos:

$$W = \frac{\text{Peso de agua}}{\text{Peso de suelo secado al horno}} \times 100 \quad \text{Ecuación 1: Contenido de humedad.}$$

$$W = \frac{M_{cws} - M_{cs}}{M_{cs} - M_c} \times 100 = \frac{M_w}{M_s} \times 100 \quad \text{Ecuación 2: Contenido de humedad.}$$

En donde:

W = Contenido de humedad, (%)

Mcws = Peso del recipiente más el suelo húmedo (gr)

Mcs = Peso del recipiente más el suelo seco (gr)

Mc = Peso del recipiente (gr)

Mw = Peso del agua (gr)

Ms = Peso del suelo seco (gr)

Para este ensayo se utiliza horno de secado, para secar las muestras húmedas de material a una temperatura de  $110 \pm 5$  °C.

Balanza, nos permite pesar las muestras con aproximaciones de 0.01 g para muestras menores a 200 g y de 0.1 g de aproximación para muestras mayores a 200 g.

Recipientes, depósitos donde se vertiera el material húmedo para su posterior secado en el horno, que se fabrican con materiales que resisten la corrosión, y los cambios de peso cuando se someten a temperaturas bajas o altas de manera continua.

Protocolo, es una herramienta elaborada y programada en una hoja Excel que nos ayuda a la recolección de datos a través de apuntes para cada ensayo que se le realice al material, además nos permite procesar los datos y encontrar los resultados planteados en esta investigación.

LABORATORIO DE SUELOS - UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE CAJAMARCA					
	PROTOCOLO				
	ENSAYO:	CONTENIDO DE HUMEDAD		CÓDIGO DEL DOCUMENTO:	
	NORMA:	MTC E 108 / ASTM D2216 / NTP 339.127		CH-LS-UPNC: .....	
PROYECTO:	PROPUESTA DE MEJORAMIENTO DE LAS PROPIEDADES FÍSICO MECÁNICAS DEL MATERIAL GRANULAR CON LA ADICIÓN DE 4 % y 6 % DE RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN PARA SU USO EN AFIRMADOS SEGÚN LAS EG-2013				
CANTERA:	Don Lucho I	ESTRATO:	TIPO DE MATERIAL:	AFIRMADO	
UBICACIÓN:	Km. 2.5 Carretera a la Costa		COLOR DE MATERIAL:	VARIOS	
FECHA DE MUESTREO:		RESPONSABLE:	ALEXEY ALVAREZ VASQUEZ		
FECHA DE ENSAYO:		REVISADO POR:	ING. ERICK R. MUÑOZ BARBOZA		
Temperatura de Secado		Método			
60 °C / 110 °C / Ambiente		Horno 110 ± 5 °C			
CONTENIDO DE HUMEDAD					
ID	DESCRIPCIÓN	UND	1	2	3
A	Identificación del recipiente o Tara				
B	Peso del Recipiente	gr			
C	Recipiente + Suelo Húmedo	gr			
D	Recipiente + Suelo Seco	gr			
E	Peso del suelo húmedo	gr			
F	Peso Suelo Seco	(W <sub>w</sub> ) C - B			
W%	Porcentaje de humedad	(W <sub>s</sub> ) D - B			
G	Promedio Porcentaje Humedad	(E / F) * 100			
		$(W\%) = \frac{W_w}{W_s} * 100$			
OBSERVACIONES:					
RESPONSABLE DEL ENSAYO		COORDINADOR DE LABORATORIO		ASESOR	
NOMBRE: Alexey Alvarez Vasquez		NOMBRE:		NOMBRE: Ing. Erick Muñoz Barboza	
FECHA:		FECHA:		FECHA:	

Figura 1. Protocolo para ensayo de contenido de humedad adaptado de la norma MTC E-108.

- ✓ **Análisis granulométrico de suelos por tamizado norma MTC E 204 – ASTM D422**, nos brinda la guía para realizar el ensayo de análisis granulométrico de los suelos gruesos y finos mediante tamizado, donde se describe los pasos a seguir para poder determinar la granulometría expresado en porcentaje de los suelos que pasan por los diferentes tamices de una serie empleada en este ensayo, hasta el de 74 mm (N° 200) permitiendo determinar cuantitativamente la distribución de tamaños de partículas de suelo que pasan a través de dicha serie de tamices de malla cuadrada (Manuel de Ensayos de Materiales MTC, 2016).

Tabla 9

*Pesos mínimos de muestra para ensayo de análisis granulométrico*

Diámetro nominal mm (pulg)	Peso mínimo de la porción (gr)
9.5 (3/8")	500
19.6 (3/4")	1000
25.7 (1")	2000
37.5 (1 1/2")	3000
50.0 (2")	4000
75 (3")	5000

Fuente: Norma MTC E 204.

Para determinar el porcentaje total que pasa por cada tamiz, se divide el peso total que pasa el tamiz N° 200 entre el peso total de la muestra y se multiplica por 100, de esta manera se calcula el porcentaje de material pasante el tamiz de 0,074 mm (N° 200).

$$\% \text{ Pasa } 0,074 = \frac{\text{Peso Total} - \text{Peso Retenido en el Tamiz de } 0,074}{\text{Peso Total}} \times 100$$

**Ecuación 3:** Porcentaje de material fino para análisis granulométrico.

También es necesario calculara el porcentaje retenido en cada tamiz de la siguiente forma:

$$\% \text{ Retenido} = \frac{\text{Peso Retenido en el Tamiz}}{\text{Peso Total}} \times 100$$

**Ecuación 4:** Porcentaje parcial retenido en análisis granulométrico.

Además, se debe calcular el porcentaje que pasa cada tamiz para determinar su gradación de la porción del suelo ensayado con la siguiente formula.

$$\% \text{ Pasa} = 100 - \% \text{ Retenido acumulado}$$

**Ecuación 5:** Porcentaje de material pasante en análisis granulométrico.

LABORATORIO DE CONCRETO – UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE CAJAMARCA								
	PROTOKOLO			CÓDIGO DEL DOCUMENTO:				
	ENSAYO	ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE AGREGADOS GRUESOS Y FINOS			AGGF-LC-UPNC: .....			
	NORMA	MTC E204 – ASTM C136 – NTP 400.012						
PROYECTO	“PROPUESTA DE MEJORAMIENTO DE LAS PROPIEDADES FÍSICO MECÁNICAS DEL MATERIAL GRANULAR CON LA ADICIÓN DE 4 % y 6 % DE RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN PARA SU USO EN AFIRMADOS SEGÚN LAS EG-2013”							
CANTERA:		Don Lucho I		RETENIDO N° 4 (gr):				
UBICACIÓN:		Km. 2.5 Carretera a la Costa		PASA N° 4 (gr):				
FECHA DE MUESTRA:				RESPONSABLE:		ALEXEY ALVAREZ VASQUEZ		
LUGAR DE ENSAYO:				REVISADO POR:		ING. ERICK R. MUÑOZ BARBOZA		
N°	TAMIZ		PESO RETENIDO (gr)	% RETENIDO (%)	% RETENIDO ACUMULADO (%)	% QUE PASA		
	(pulg)	(mm)				ARENA	ESPECIFICACIÓN	
1	2"	50.00				100	100	
2	1 1/2"	37.50				100	100	
3	1"	25.00				90	100	
4	3/4"	19.00				65	100	
5	1/2"	12.50						
6	3/8"	9.50				45	80	
7	N° 4	4.75				30	65	
8	N° 10	2.00				22	52	
9	N° 20	0.85						
10	N° 30	0.60						
11	N° 40	0.43				15	35	
12	N° 80	0.25						
13	N° 100	0.15						
14	N° 200	0.075						
15	Fondo	0						

N°	TAMIZ		PESO RETENIDO (gr)	% RETENIDO (%)	% RETENIDO ACUMULADO (%)	% QUE PASA	
	(pulg)	(mm)				GRAVA	ESPECIFICACIÓN
1	1 1/2"	37.50					
2	1"	25.00					
3	3/4"	19.00					
4	1/2"	12.50					
5	3/8"	9.50				45	80
6	N° 4	4.75				30	65
7	N° 10	2.00				22	52
8	N° 20	0.85					
9	N° 30	0.60					
10	N° 40	0.43				15	35
11	N° 80	0.25					
12	N° 100	0.15					
13	N° 200	0.075				5	20
14	Fondo	0					

OBSERVACIONES:

RESPONSABLE DEL ENSAYO	COORDINADOR DE LABORATORIO	ASESOR
NOMBRE: Alexey Alvarez Vasquez FECHA:	NOMBRE: FECHA:	NOMBRE: Ing. Erick Muñoz Barboza FECHA:

Figura 2. Protocolo para ensayo granulométrico adaptado de la norma MTC E-204.

- ✓ **Límites de consistencia norma MTC E 110-111 – ASTM D 4318**, Es una guía que nos brinda los lineamientos para realizar los ensayos de límites de consistencia de Atterberg que comprende el límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad de suelos (Manuel de Ensayos de Materiales MTC, 2016).

**Límite líquido de un suelo (L.L.)**, viene a ser el contenido de humedad del suelo cuyo valor es expresado en porcentaje, es decir cuando el suelo se encuentra en el límite entre el estado líquido y el plástico. Se determinará el límite líquido de un suelo tomando el porcentaje de humedad que corresponde a la intersección de una línea proyectada con la abscisa de 25 golpes (Manuel de Ensayos de Materiales MTC, 2016).

**Límite plástico (L.P.)**, es el que se refiere “a la humedad más baja con la que pueden formarse barras cilíndricas de suelo de unos 3,2 mm (1/8") de diámetro, enrolando dicho suelo entre la palma de la mano y una placa de vidrio, sin que dichas barritas se desmoronen”. Se determinará el contenido de humedad de cada barra cilíndrica mediante la siguiente fórmula (Manuel de Ensayos de Materiales MTC, 2016).

$$\text{Límite Plástico} = \frac{\text{Peso de agua}}{\text{Peso de suelo secado al horno}} \times 100 \quad \text{Ecuación 6: Límite Plástico.}$$

**Índice de plasticidad [IP] de un suelo**, es la diferencia de humedad que existe entre el límite líquido y el límite plástico, nos permite determinar la cantidad de material fino arcilloso que contiene una muestra de suelo, este parámetro es muy importante ya que actuara como ligante y nos garantizara el hecho de mantener aglutinadas las partículas de los materiales utilizados en capas de afirmado, sub bases y bases de un pavimento (Manuel de Ensayos de Materiales MTC, 2016).

En los casos donde un suelo no presente límite líquido o límite plástico, su índice de plasticidad de este se considera como NP (no plástico), se determinará según la siguiente expresión (Manuel de Ensayos de Materiales MTC, 2016).

$IP = L.L. - L.P.$  **Ecuación 7:** Índice de plasticidad. donde:

Donde:

I.P. = Índice de plasticidad

L.L. = Límite líquido

L.P. = Límite plástico

Para dicho ensayo se utiliza Copa Casagrande, consiste en una taza (cuchara) de bronce de  $200 \pm 20$ grs, montada en un dispositivo de apoyo fijado a una base de caucho, nos permite determinar el límite líquido (LL) del material con relación al número de golpes necesarios para cerrar el material ranurado en el fondo de la copa hasta una longitud de 13 mm, de la cual se determina su humedad.

Tamiz N° 40 que nos permite obtener la muestra fina pasante para preparar la masa de material y colocarlo en la taza de la copa de casa grande.

Vasija de porcelana de 115 mm de diámetro aproximadamente donde se prepara la mezcla de material humedeciendo progresivamente hasta lograr una masa homogénea de suelo.

Placa de vidrio para realizar el ensayo de limite plástico (LP) que consiste en “enrollar la muestra sobre la placa de vidrio hasta obtener cilindros de 3 mm de diámetro y que presente agrietamientos”, de la cual se determina su humedad.

Horno para secado descrito en la figura 2, balanza de aproximación de 0.01g + recipiente (tara) para secado de muestras descrito en la figura 1.

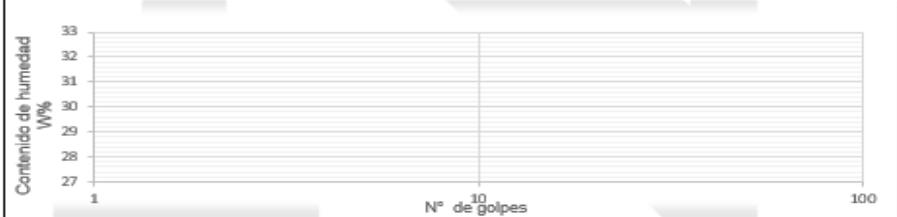
LABORATORIO DE SUELOS - UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE CAJAMARCA				
PROTOCOLO				
	ENSAYO:	LÍMITES DE PLASTICIDAD	CÓDIGO DEL DOCUMENTO: LP-LS-UPNC: .....	
	NORMA:	ASTM D4318 / NTP E339.130 – NTP E111		
	PROYECTO:	“PROPUESTA DE MEJORAMIENTO DE LAS PROPIEDADES FÍSICO MECÁNICAS DEL MATERIAL GRANULAR CON LA ADICIÓN DE 4 % y 6 % DE RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN PARA SU USO EN AFIRMADOS SEGÚN LAS EG-2013”		
CALICATA:		ESTRATO:	TIPO DE MATERIAL:	AFIRMADO
UBICACIÓN:			COLOR DE MATERIAL:	VARIOS
FECHA DE MUESTREO:			RESPONSABLE:	ALEXEY ALVAREZ VASQUEZ
FECHA DE ENSAYO:			REVISADO POR:	ING. ERICK MUÑOZ BARBOZA

DETERMINACIÓN LÍMITE LÍQUIDO (LL)							
ID	DESCRIPCIÓN	UND	1	2	3	4	5
A	Identificación de Recipiente	N°					
B	Suelo Húmedo + Recipiente	gr					
C	Suelo Seco + Recipiente	gr					
D	Peso de Recipiente	gr					
E	Peso del Agua	gr					
F	Peso Suelo Seco	gr					
G	Número de Golpes	N					
H	Contenido de Humedad	%					

DETERMINACIÓN LÍMITE PLÁSTICO (LP)							
ID	DESCRIPCIÓN	UND	1	2	3	4	5
A	Identificación de Recipiente	N°					
B	Suelo Húmedo + Tara	gr					
C	Suelo Seco + Tara	gr					
D	Peso de Tara	gr					
E	Peso del Agua	gr					
F	Peso Suelo Seco	gr					
G	Contenido de Humedad	%					
H	Promedio Límite Plástico						

OBSERVACIONES:		
RESPONSABLE DEL ENSAYO	COORDINADOR DE LABORATORIO	ASESOR
NOMBRE: Alexey Alvarez Vasquez	NOMBRE:	NOMBRE: Ing. Erick Muñoz Barboza
FECHA:	FECHA:	FECHA:

Figura 3. Protocolo para ensayo de límites de consistencia adaptado de la norma MTC E-110/111.

- ✓ **Propiedades mecánicas:**
- ✓ **Abrasión los ángeles norma MTC E 207 – ASTM C 131**, “es una guía que sirve para determinar el ensayo de abrasión los ángeles que consiste en medir el porcentaje de desgaste de los agregados gruesos hasta un tamaño de 37.5 mm (1 ½”) por medio de la máquina de los ángeles con una carga abrasiva, quien nos determinara la resistencia al desgaste de los agregados naturales o triturados. La carga abrasiva dependerá de la granulometría del material” (Manuel de Ensayos de Materiales MTC, 2016).

Tabla 10  
Carga abrasiva según granulometría del agregado para ensayo de abrasión

Granulometría de ensayo	Número de esferas	Peso total (g)
A	12	5000 ± 25
B	11	4584 ± 25
C	8	3330 ± 20
D	6	2500 ± 15

Fuente: Norma MTC E 207.

Tabla 11  
Granulometría de la muestra de agregado para ensayo de abrasión

Tamiz (pasa)	Tamiz (retiene)	"A" (gr)	"B" (gr)	"C" (gr)	"D" (gr)
1 1/2"	1"	1250 ± 25			
1"	3/4"	1250 ± 25			
3/4"	1/2"	1250 ± 10	2500 ± 10		
1/2"	3/8"	1250 ± 10	2500 ± 10		
3/8"	1/4"			2500 ± 10	
1/4"	N° 4			2500 ± 10	
N° 4	N° 8				5000 ± 10
<b>TOTALES</b>		5000 ± 10	5000 ± 10	5000 ± 10	5000 ± 10

Fuente: Norma MTC E 207.

El resultado del ensayo se denominará coeficiente de desgaste de los ángeles, para determinar este parámetro se utiliza la siguiente formula:

$$\% \text{Desgaste} = \frac{P1 - P2}{P1} \times 100 \quad \text{Ecuación 8: Porcentaje de desgaste a la abrasión.}$$

Donde:

P1 = Peso de muestra seca a ser ensayada

P2 = Peso de muestra seca ensayada, previo tamizado por la malla 1.70 mm (N° 12).

Se utilizará la máquina de los ángeles, esferas de acero de diámetro entre 46.38 mm y 47.63 mm y un peso comprendido entre 390 g y 445 g".

Tamices de 3/4", 1/2", 3/8" que nos permite seleccionar la muestra según el método para el ensayo teniendo en cuenta la granulometría del material a ensayar, y tamiz N°

12 para determinar mediante tamizado el material pasante esta malla después de haber retirado la muestra de la máquina de los ángeles.

Balanza que permite la determinación del peso con aproximación a 1 g, horno que mantenga una temperatura uniforme de  $110 \pm 5$  °C para secado de los agregados después de haber sido lavados.

LABORATORIO DE CONCRETO – UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE CAJAMARCA					
PROTOCOLO					
ENSAYO	ABRASIÓN LOS ANGELES AL DESGASTE DE LOS AGREGADOS DE TAMAÑOS MENORES DE 37.5 mm (1 ½")			CÓDIGO DEL DOCUMENTO: ALA-LC-UPNC: .....	
NORMA	MTC E207 – ASTM C 131 – NTP 400.019				
PROYECTO	"PROPUESTA DE MEJORAMIENTO DE LAS PROPIEDADES FÍSICO MECÁNICAS DEL MATERIAL GRANULAR CON LA ADICIÓN DE 4 % y 6 % DE RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN PARA SU USO EN AFIRMADOS SEGÚN LAS EG-2013"				
CANTERA:	Don Lucho I	TIPO DE CANTERA:	De cerro		
UBICACIÓN:	Km. 2.5 Carretera a la Costa	TIPO DE MATERIAL:	Afirmado		
FECHA DE MUESTRA:		RESPONSABLE:	ALEXEY ALVAREZ VASQUEZ		
FECHA DE ENSAYO:		REVISADO POR:	ING. ERICK R. MUÑOZ BARBOZA		
MUESTREO:					

GRANULOMETRÍA DE ENSAYO				
GRADACIÓN	"A"	"B"	"C"	"D"
CARGA ABRASIVA (N° de esferas de acero)	12	11	8	6

GRANULOMETRÍA DE LA MUESTRA DE AGREGADO PARA ENSAYO					
Tamiz (pasa)	Tamiz (retiene)	"A" (gr)	"B" (gr)	"C" (gr)	"D" (gr)
1 ½"	1"	1250 ± 25			
1"	¾"	1250 ± 25			
¾"	½"	1250 ± 10	2500 ± 10		
½"	3/8"	1250 ± 10	2500 ± 10		
3/8"	¼"			2500 ± 10	
¼"	N° 4			2500 ± 10	
N° 4	N° 8				5000 ± 10
TOTALES		5000 ± 10	5000 ± 10	5000 ± 10	5000 ± 10

DESGASTE A LA ABRASIÓN						
ID	DESCRIPCIÓN	UND	1	2	3	P R O M E D I O
A	Peso muestra total	gr				
B	Peso retenido en tamiz N° 12	gr				
D	Desgaste a la abrasión Los Angeles $D = (A - B) * 100 / A$	%				

OBSERVACIONES:

RESPONSABLE DEL ENSAYO	COORDINADOR DE LABORATORIO	ASESOR
NOMBRE: Alexey Alvarez Vasquez	NOMBRE:	NOMBRE: Ing. Erick Muñoz Barboza
FECHA:	FECHA:	FECHA:

Figura 4. Protocolo para ensayo de abrasión adaptado de la norma MTC E-207.

- ✓ **Proctor modificado norma MTC E 115 – ASTM D 157**, “Esta norma establece el procedimiento para el ensayo de proctor modificado en laboratorio, donde se determina la relación que existe entre el peso unitario del suelo seco y su contenido de humedad, también establece los diámetros de los moldes a utilizar como son de 101,6 o 152,4 mm (4 o 6 pulg) y pisón de 44,5 N (10 lbf) con caída libre de 457 mm (18 pulg), con una energía de compactación de (2700 kN-m/m<sup>3</sup> (56000 pie-lbf/pie<sup>3</sup>)). Este ensayo permite determinar un contenido de humedad óptimo ( $w_o$ ) y un peso unitario seco máximo ( $\gamma_{m\acute{a}x}$ ) a través de la compactación de especímenes con diferentes contenidos de agua, seleccionados de forma ascendente a razón de 2% de diferencia uno del otro. La elección de humedecimiento ( $w$ ), este sobre el óptimo contenido de agua, debajo o al óptimo , y al peso unitario máximo seco ( $\gamma_{m\acute{a}x}$ ) está basado en experiencias anteriores, o investigaciones ya establecidas con una serie de valores para determinar el porcentaje necesario de compactación. En base a una curva de compactación se determina el Óptimo Contenido de humedad y el Peso Unitario Seco Máximo con las siguientes ecuaciones” (Manuel de Ensayos de Materiales MTC, 2016).

$$\rho_m = 1000 \times \frac{(M_t - M_{md})}{V} \quad \text{Ecuación 9: Densidad húmeda del material.}$$

Donde:

$\rho_m$  = Densidad húmeda del suelo compactado (g/cm<sup>3</sup>)

$M_t$  = Masa del suelo húmedo más molde (g)

$M_{md}$  = Masa del molde (g)

$V$  = Volumen del molde (cm<sup>3</sup>)

$$\rho_d = \frac{\rho_m}{1 + \frac{w}{100}} \quad \text{Ecuación 10: Densidad seca del material.}$$

Donde:

$\rho_d$  = Densidad seca del suelo compactado (g/Cm<sup>3</sup>)

$w$  = Contenido de humedad (%)

Tabla 12  
*Elección del método para ensayo proctor modificado*

DESCRIPCIÓN MÉTODO PARÁMETROS A CONSIDERAR	UND	PROCTOR MODIFICADO		
		A	B	C
		% Ret. Acum. N°4 ≤ 20%	% Ret. Acum. 3/8" ≤ 20% % Ret. Acum. N°4 ≥ 20%	% Ret. Acum. 3/4" ≤ 30% % Ret. Acum. 3/8" ≥ 20%
<b>Tipo de material utilizado</b>		<b>Pasante malla N°4</b>	<b>Pasante malla 3/8"</b>	<b>Pasante malla 3/4"</b>
N° DE CAPAS	n	5	5	5
N° DE GOLPES	N	25	25	56
DIÁMETRO DE MOLDE	cm	10.16± 0.04	10.16± 0.04	15.24± 0.07
ALTURA DEL MOLDE	cm	11.64± 0.05	11.64± 0.05	11.64± 0.05
VOLUMEN DEL MOLDE	cm <sup>3</sup>	944± 0.15	944± 0.15	2124± 0.25
PESO DEL MARTILLO	kg	4.54± 0.01	4.54± 0.01	4.54± 0.01
ALTURA CAÍDA DEL MARTILLO	cm	45.72± 0.16	45.72± 0.16	45.72± 0.16
DIÁMETRO DEL MARTILLO	cm	5.08± 0.025	5.08± 0.025	5.08± 0.025
ENERGÍA DE COMPACTACIÓN	Kg/cm	27.485	27.485	27.485

Fuente: Norma MTC E 115.

Se utilizará un molde proctor de diámetro promedio  $152,4 \pm 0,7$  mm con una altura de  $116,4 \pm 0,5$  mm y un volumen de  $2\ 124 \pm 25$  cm<sup>3</sup>, donde se coloca las muestras de material humedecido, en 5 capas compactando con 56 golpes cada capa con la ayuda de un pisón para determinar su densidad húmeda.

Pisón o Martillo manual que tiene caída libre desde una altura de  $457,2 \pm 1,6$  mm de la superficie de espécimen, la masa del pisón será  $4,54 \pm 0,01$  kg.

Balanza de tipo GP5 que reúna los requisitos de la Especificación ASTM D 4753, para una aproximación de 1 gramo, para determinar el peso de los especímenes ensayados.

Horno de Secado con control termostático preferiblemente del "tipo de ventilación forzada, capaz de mantener una temperatura uniforme de  $110 \pm 5$  °C a través de la cámara de secado", donde se secarán las muestras del material que se han humedecido

con diferentes porcentajes a razón de 2% de diferencia el uno del otro de forma ascendente en un total de 4 especímenes.

Enrazador o regla metálica, que sea rígida de una longitud considerable pero no menor que 254 mm, que permite enrazar el material compactado de la última capa con el borde superior del molde proctor.

Tamices de 3/4", 3/8" y N° 4, para seleccionar la muestra del ensayo según el método que sea necesario de acuerdo a la granulometría del material según norma MTC E 115.

“Herramientas de Mezcla: diversas herramientas tales como cucharas, bandejas, mezclador, paleta, espátula, botella de spray, etc. o un aparato mecánico apropiado para la mezcla de muestra de suelo con incrementos de agua”.

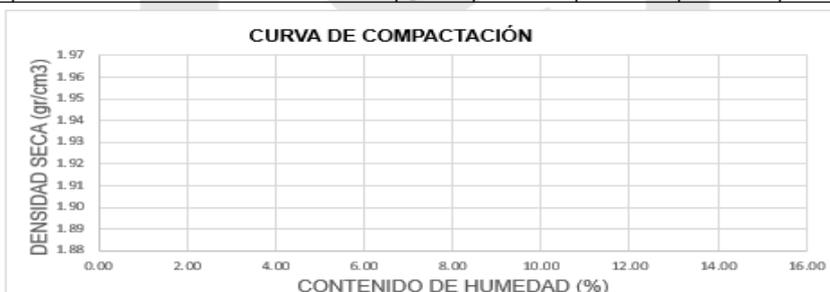
LABORATORIO DE SUELOS - UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE CAJAMARCA									
PROTOCOLO									
ENSAYO:		COMPACTACIÓN PROCTOR MODIFICADO				CÓDIGO DEL DOCUMENTO:			
NORMA:		MTC E115 / ASTM D1557 / NTP 339.141				CPM-LS-UPNC: .....			
PROYECTO:		"PROPUESTA DE MEJORAMIENTO DE LAS PROPIEDADES FÍSICO MECÁNICAS DEL MATERIAL GRANULAR CON LA ADICIÓN DE 4 % y 6 % DE RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN PARA SU USO EN AFIRMADOS SEGÚN LAS EG-2013"							
CANTERA:		Don Lucho I		TIPO DE MATERIAL:		AFIRMADO			
UBICACIÓN:		Km. 2.5 Carretera a la Costa		COLOR DE MATERIAL:		VARIOS			
FECHA DE MUESTREO:				RESPONSABLE:		ALEXEY ALVAREZ VASQUEZ			
FECHA DE ENSAYO:				REVISADO POR:		ING. ERICK R. MUÑOZ BARBOZA			

COMPACTACIÓN PROCTOR MODIFICADO										
ID	DESCRIPCIÓN	UND	1		2		3		4	
A	Peso Molde	gr								
B	Peso Muestra Húmeda + Molde	gr								
C	Peso Muestra Húmeda	gr								
D	Volumen Muestra húmeda	cm <sup>3</sup>								
F	Densidad húmeda: Dh	gr/cm <sup>3</sup>								
G	Recipiente	N°	T-1	T-2	T-3	T-4	T-5	T-6	T-7	T-8
H	Peso Recipiente	gr								
I	Peso Muestra húmeda + Recipiente	gr								
J	Peso Muestra Seca + Recipiente	gr								
K	Peso del Agua	gr								
L	Peso Muestra seca	gr								
M	Contenido de Humedad W%	%								
N	Promedio Contenido de humedad Óptimo	%								
O	Densidad Seca Máxima: Ds	gr/cm <sup>3</sup>								

**CURVA DE COMPACTACIÓN**



OBSERVACIONES:				
RESPONSABLE DEL ENSAYO	COORDINADOR DE LABORATORIO		ASESOR	
NOMBRE: Alexey Alvarez Vasquez	NOMBRE: / / 2018		NOMBRE: Ing. Erick Muñoz Barboza	
FECHA: / / 2018	FECHA: / / 2018		FECHA: / / 2018	

Figura 5. Protocolo para ensayo de proctor modificado adaptado de la norma MTC E-115.

- ✓ **California Bearing Ratio – CBR norma MTC E 132 - ASTM D 1883**, “Describe el procedimiento de ensayo para poder determinar el índice de resistencia de los suelos conocido también como valor de la relación de soporte, California Bearing Ratio [CBR]. Este ensayo se hace con porciones de suelo humedecido a un óptimo contenido de humedad y densidad; también se puede elaborar sobre muestras en estado natural tomadas del terreno. Este índice CBR nos indica la capacidad de soporte que poseen los suelos de sub rasante y de las capas como base, sub-base y afirmado. Consta de tres etapas, ensayo de compactación CBR, hinchamiento y ensayo de carga penetración” (Manuel de Ensayos de Materiales MTC, 2016).

**Compactación CBR**, Consiste en compactar el espécimen en el interior de un molde, utilizando una fuerza dinámica de compactación que puede ser, proctor estándar o modificado, utilizando en cada muestra la cantidad de agua y el número de golpes por capas necesarias para que el suelo obtenga su máxima densidad. Se utilizará tres moldes por cada muestra, de acuerdo al tipo de suelo granular o cohesivo, este se hará en diferentes rangos de compactación. En suelos granulares, se realizará la compactación en 55, 26 y 12 golpes por cada capa y con el óptimo contenido humedad encontrado en el ensayo proctor. La humedad de compactación será el porcentaje de agua que se debe añadir al suelo con humedad natural y de esta manera pueda alcanzar la óptima humedad de compactación. Se calcula de la siguiente manera” (Manuel de Ensayos de Materiales MTC, 2016).

$$\% \text{ de agua a añadir} = \frac{H - h}{100 + h} \times 100 \quad \text{Ecuación 11: Porcentaje de agua a añadir CBR.}$$

Donde:

H = Humedad óptima

h = Humedad natural

**Hinchamiento o expansión**, “La expansión se calcula de acuerdo a la diferencia entre las lecturas del deformímetro antes y después de introducir los especímenes en agua durante 96 horas. Este valor es el porcentaje que se mide de acuerdo a la altura de la del espécimen en el molde de 127 mm (5”) de la siguiente manera (Manuel de Ensayos de Materiales MTC, 2016).

$$\% \text{ de expansión} = \frac{L2 - L1}{127} \times 100 \quad \text{Ecuación 12: Porcentaje de expansión CBR.}$$

Siendo

L1 = Lectura inicial en mm.

L2 = Lectura final en mm.

**Penetración**, Consiste en aplicar “una sobrecarga, que produce una carga igual al peso del pavimento (con  $\pm 2.27$  kg de aproximación) pero no menor de 4.54 kg (10 lb). Para evitar el empuje hacia arriba del suelo dentro del agujero de las pesas de sobrecarga”, se colocará el molde en la prensa en el orificio central de la sobrecarga a, el pistón de penetración y se “añade el resto de la sobrecarga si hubo inmersión, hasta completar la que se utilizó en ella. Se monta el dial medidor de manera que se pueda medir la penetración del pistón y se aplica una carga de 50N (5 kg) para que el pistón asiente. Seguidamente se sitúan en cero las agujas de los diales medidores, u otro dispositivo para medir la carga, y el de control de la penetración. Para evitar que la lectura de penetración se vea afectada por la lectura del anillo de carga, el control de penetración deberá apoyarse entre el pistón y la muestra o molde (Manuel de Ensayos de Materiales MTC, 2016).

**Índice resistente CBR**, “Se llama valor de la relación de soporte (índice CBR), al porcentaje de la presión ejercida por un pistón sobre el suelo, para una penetración determinada, en relación con la presión correspondiente a la misma penetración en una muestra patrón. Las características de la muestra patrón son las siguientes” (Manuel de Ensayos de Materiales MTC, 2016).

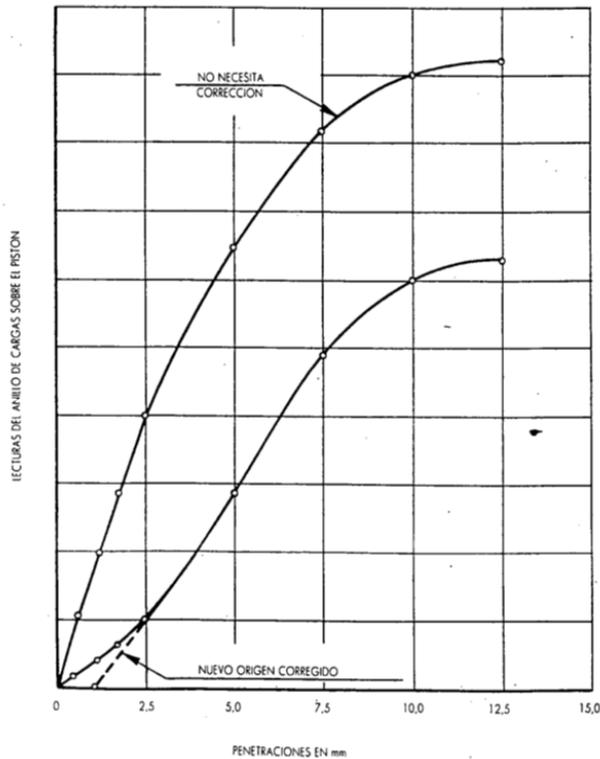
Tabla 13

*Valor patrón de la relación de soporte (índice resistente CBR)*

Penetración		Presión		
Mm	Pulgadas	MN/m <sup>2</sup>	kgf/cm <sup>2</sup>	lb/plg <sup>2</sup>
2,54	0,1	6,90	70,31	1,000
5,08	0,2	10,35	105,46	1,500

Fuente: Norma MTC E 132.

Figura 6  
Curva para calcular el índice CBR



Fuente: Norma MTC E 132.

Para calcular el índice CBR utilizaremos las siguientes ecuaciones:

$$\sigma = \frac{P}{A} \quad \text{Ecuación 13: Esfuerzo}$$

Donde

$\sigma$  = Esfuerzo

P = Carga aplicada

A = Área del pistón de carga

$$\text{CBR} = \frac{\text{Esfuerzo unitario ensayado}}{\text{Esfuerzo unitario patrón}} \times 100 \quad \text{Ecuación 14: Índice CBR.}$$

LABORATORIO DE SUELOS - UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE CAJAMARCA										
PROTOCOLO										
ENSAYO:		CALIFORNIA BEARING RATIO - CBR				CÓDIGO DEL DOCUMENTO:				
NORMA:		MTC E132 / ASTM D188				CBR-LS-UPNC: .....				
TESIS:		PROPUESTA DE MEJORAMIENTO DE LAS PROPIEDADES FÍSICO MECÁNICAS DEL MATERIAL GRANULAR CON LA ADICIÓN DE 4 % y 6 % DE RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN PARA SU USO EN AFIRMADOS SEGÚN LAS EG-2013								
CANTERA:	Don Lucho I	ESTRATO:		TIPO DE MATERIAL:	AFIRMADO					
UBICACIÓN:	Km. 2.5 carretera a la Costa			COLOR DE MATERIAL:	VARIOS					
FECHA DE MUESTREO:		RESPONSABLE:	ALEXEY ALVAREZ VASQUEZ							
FECHA DE ENSAYO:		REVISADO POR:	ING. ERICK R. MUÑOZ BARBOZA							
CALIFORNIA BEARING RATIO - CBR										
DESCRIPCIÓN	UND	1		2		3				
N° Golpes		5		5		5				
N° Golpes por Capa		13		27		55				
Condición de Muestra		Antes	Despu.	Antes	Despu.	Antes	Despu.			
Peso Molde	gr									
Peso Muestra húmeda + Molde	gr									
Peso Muestra húmeda	gr									
Volumen Muestra húmeda	cm <sup>3</sup>									
Densidad húmeda ; $D_h$	gr/cm <sup>3</sup>									
CONTENIDO DE HUMEDAD										
Ensayo	N°	1-A	1-B	1-C	2-A	2-B	2-C	3-A	3-B	3-C
Peso Recipiente	gr									
Peso Muestra húmeda + Recipiente	gr									
Peso Muestra Seca + Recipiente	gr									
Peso del Agua	gr									
Peso Muestra Seca	gr									
Contenido de Humedad ; W%	%									
Promedio Contenido de Humedad	%									
Densidad Máxima Seca; $D_s$	gr/cm <sup>3</sup>									
ENSAYO DE HINCHAMIENTO										
TIEMPO ACUMULADO		MOLDE N° 01			MOLDE N° 02			MOLDE N° 03		
		Lectura	Hinchamiento		Lectura	Hinchamiento		Lectura	Hinchamiento	
Horas	Días	Deforma.	mm	%	Deforma.	mm	%	Deforma.	mm	%
OBSERVACIONES:										
RESPONSABLE DEL ENSAYO		COORDINADOR DE LABORATORIO				ASESOR				
NOMBRE: Alexey Alvarez Vasquez		NOMBRE:				NOMBRE: Ing. Erick Muñoz Barboza				
FECHA:		FECHA:				FECHA:				

Figura 7. Protocolo para ensayo CBR adaptado de la norma MTC E-132.

- ✓ **Clasificación de Suelos AASHTO y SUCS**, “El suelo puede ser clasificado, de una manera muy general como cohesivo o no cohesivo. Pero estos términos son muy generales y cubren una gran gama de propiedades físicas y por esta razón se requieren medios de clasificación adicionales para determinar el uso del suelo. Algunos métodos de clasificación propuestos son el sistema AASHTO, este lo que hace es clasificar el suelo en ocho grupos desde A1 hasta A8 y los datos que requiere esta clasificación son: análisis granulométrico, límites de Atterberg y la humedad del terreno. Otro método es el sistema unificado de la clasificación de suelos (USCS) este sistema

originalmente fue usado para uso de la construcción de aeropistas, pero con el tiempo fue modificado para hacerlo aplicable a presas y a otras construcciones, el sistema consiste en designar los suelos con símbolos de grupos consistentes en un prefijo y sufijo. Los prefijos indican los tipos principales de suelo y los sufijos indican las subdivisiones” (Vargas, 2009, p.10).

**Método AASHTO (ASTM D 3282)**, “El método se basa en determinaciones de laboratorio de Granulometría, Límite Líquido, límite plástico e Índice de Plasticidad. Es un método utilizado principalmente para Obras Viales. Consta de una tabla en la que la norma AASHTO clasifica los suelos granulares en tres grandes grupos y que estos tienen algunas subdivisiones por otro lado los suelos finos se dividen en cuatro grupos. Los parámetros que tiene en cuenta este método de clasificación son el porcentaje pasa No.10, No.40, No.200, el límite líquido, el índice de plasticidad y por último el índice de grupo” (Vargas, 2009, p.11).

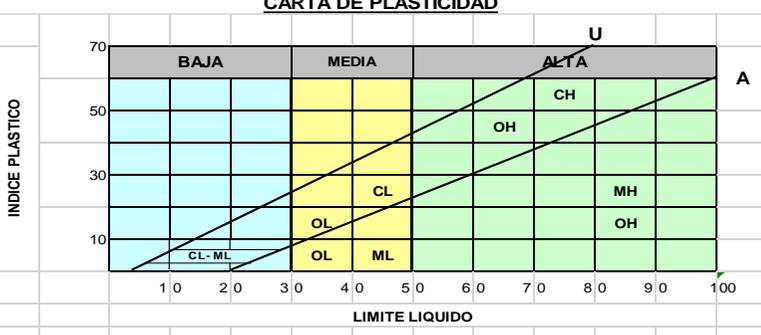
Tabla 14  
Sistema de clasificación AASHTO

Clasific. General	Suelos Granulares ( $\leq 35\%$ pasa 0,08 mm)						Suelos Finos ( $> 35\%$ Bajo 0,08 mm)				
	A-1		A-3	A-2				A-4	A-5	A-6	A-7
Grupo	A-1		A-3	A-2				A-4	A-5	A-6	A-7
Sub-Grupo	A-1a	A-1b		A-2-4	A-2-5	A-2-6*	A-2-7*				A-7-5** A-7-6**
2 mm	$\leq 50$										
0,5 mm	$\leq 30$	$\leq 50$	$\geq 51$								
0,08 mm	$\leq 15$	$\leq 25$	$\leq 10$	$\leq 35$				36			
$W_L$				$\leq 40$	$\geq 41$	$\leq 40$	$\geq 41$	$\leq 40$	$\geq 41$	$\leq 40$	$\geq 41$
IP	$\leq 6$		NP	$\leq 10$	$\leq 10$	$\geq 11$	$\geq 11$	$\leq 10$	$\leq 10$	$\geq 11$	$\geq 11$
Descripción	Gravas y Arenas		Arena Fina	Gravas y Arenas Limosas Arcillosas				Suelos Limosos		Suelos Arcillosos	
	** A-7-5: $IP \leq (W_L - 30)$						** A-7-6: $IP > (W_L - 30)$				
	Si el suelo es NP $\rightarrow IG = 0$ ; Si $IG < 0 \rightarrow IG = 0$										

Fuente: AASHTO M 145.

**Método SUCS (ASTM D 2487)**, "Los elementos esenciales para realizar esta clasificación fueron propuestos por Arthur Casagrande que ideó una clasificación de los suelos para carreteras y aeropuertos; la que posteriormente la adoptaron el cuerpo de ingenieros de los estados unidos los cuales la modificaron y condujo al sistema unificado de clasificación de los suelos. Actualmente este sistema se utiliza en la mayoría de países. Según este sistema, los suelos se dividen en tres grupos principales grano grueso, grano fino y Altamente orgánico (suelo turbas)" (Vargas, 2009, p.13).

Tabla 15  
Sistema de clasificación SUCS

DIVISIÓN	PROCEDIMIENTO DE IDENTIFICACIÓN EN EL CAMPO				SÍMBOLO	NOMBRES TÍPICOS	CRITERIO DE CLASIFICACIÓN EN LABORATORIO						
SUELO DE PARTICULAS GRUESAS Más de la mitad del material es RETENIDO en la malla número 200	GRAVAS Más de la mitad de la fracción gruesa es RETENIDA por la malla Nº4.	GRAVAS LIMPIAS (poco ó nada de partículas finas)	Amplia gama en los tamaños de las partículas y cantidades apreciables de tamaños intermedios		GW	Gravas bien gradadas, mezclas de grava y arena con poco ó nada de finos	FRACCIÓN QUE PASA POR LA MALLA Nº 200 Menos del 5% : GW, GP, SW, SP, SM, SC. De 5% al 12% : Casos de frontera se requiere el uso de símbolos dobles.	Coeficiente de uniformidad Cu : mayor de 4 Coeficiente de curvatura Cc : entre 1 y 3 Cu= D60/D10 ; Cc= (D30) <sup>2</sup> /D10*D60					
			Predominio de un tamaño ó un tipo de tamaño , con ausencia de algunos intermedios.		GP	Gravas mal gradadas, mezclas de grava y arena con poco ó nada de finos		No satisfacen todos los requisitos de gradación para GW.					
		GRAVAS CON FINOS (cantidad apreciable de partículas finas)	Fracción fino poco ó nada plástica (para identificarla vease grupo M)		GM	Gravas limosas, mezclas de grava, arena y arcilla.		Debajo de "A" I.P. menor que 4	Arriba de "A" y con I.P. entre 4 y 7 casos de frontera, uso de símbolos dobles.				
			Fracción fina plástica (para identificarla vease grupo CL)		GC	Gravas arcillosas, mezclas de grava, arena y arcilla.		Arriba de "A" I.P. mayor que 7					
	ARENAS Mas de la mitad de la fracción gruesa PASA por la malla Nº4.	ARENAS LIMPIAS (poco ó nada de partículas finas)	Amplia gama en los tamaños de las partículas y cantidades apreciables de tamaños intermedios		SW	Gravas bien gradadas, mezclas de grava y arena con poco ó nada de finos		FRACCIÓN QUE PASA POR LA MALLA Nº 200 Menos del 5% : GW, GP, SW, SP, SM, SC. De 5% al 12% : Casos de frontera se requiere el uso de símbolos dobles.	Coeficiente de uniformidad Cu : mayor de 6 Coeficiente de curvatura Cc : entre 1 y 3 Cu= D60/D10 ; Cc= (D30) <sup>2</sup> /D10*D60				
			Predominio de un tamaño ó un tipo de tamaño , con ausencia de algunos intermedios.		SP	Gravas mal gradadas, mezclas de grava y arena con poco ó nada de finos			No satisfacen todos los requisitos de gradación para SW.				
		ARENAS CON FINOS (cantidad apreciable de partículas finas)	Fracción fino poco ó nada plástica (para identificarla vease grupo M)		SM	Gravas limosas, mezclas de grava, arena y arcilla.			Debajo de "A" I.P. menor que 4	Arriba de "A" y con I.P. entre 4 y 7 casos de frontera, uso de símbolos dobles.			
			Fracción fina plástica (para identificarla vease grupo CL)		SC	Gravas arcillosas, mezclas de grava, arena y arcilla.			Arriba de "A" I.P. mayor que 7				
PROCEDIMIENTO DE IDENTIFICACIÓN EN LA FRACCIÓN QUE PASA LA MALLA Nº 40													
SUELO DE PARTICULAS FINAS Más de la mitad del material PASA en la malla número 200	LIMOS Y ARCILLAS LIMITE LIQUIDO menor de 50	RESISTENCIA EN ESTADO SECO (característica al rompimiento)	MOVILIDAD DEL AGUA (reacción al agitado)	TENACIDAD (consistencia cerca del limite plástico)			G = gravas, M = limo, O = orgánicos, W = bien gradadas, S = arenas, C = arcilla, P = mal gradado, L = baja compresibilidad, H = alta compresibilidad.						
									Nula ó ligera	Rápida alenta	Nula	ML	Limos inorgánicos, polvo de roca, limos arenosos ó arcillosos ligeramente plásticos.
									Media a alta	Nula a muy lenta	media	CL	Arcillas inorgánicas de baja a media plasticidad, arcillas con grava, arcillas arenosas, arcillas limosas, arcillas pobres.
		Ligera a media	Lenta	Ligera	OL	Limos orgánicos y arcillas limosas orgánicas de baja plasticidad.							
		LIMOS Y ARCILLAS LIMITE LIQUIDO mayor de 50	Ligera a media	Lenta a nula	Ligera a media	MH		Limos inorgánicos, limos micaceos ó diatomeos, limos elásticos.					
			Alta a muy alta	Nula a muy lenta	Alta	CH		Arcillas inorgánicas de alta plasticidad, arcillas francas.					
	Media a alta		Nula a muy lenta	Ligera a media	OH	Arcillas orgánicas de media ó alta plasticidad, limos orgánicos de media plasticidad.							
	SUELOS ALTAMENTE ORGANICOS		Fácilmente identificable por su color, olor, sensación esponjosa y, frecuentemente , por su textura fibrosa.			Pt		Turbas y otros suelos altamente orgánicos.					
	<p style="text-align: center;"><b>CARTA DE PLASTICIDAD</b></p> 												

Fuente: SUCS - ASTM D 2487

## 2.5. Aspectos éticos

Se garantiza que los ensayos se han realizado siguiendo los lineamientos establecidos por las normas descritas en esta investigación para cada ensayo del material. Además, cabe recalcar que las pruebas realizadas a los materiales se han hecho bajo la supervisión del asesor de tesis y personal encargado de laboratorio de suelos de la Universidad Privada del Norte, en señal de conformidad con lo expuesto los responsables firman los protocolos de los ensayos para garantizar que los resultados de las pruebas sean confiables.

## 2.6. Procedimiento de recolección de datos

En la presente tesis se estudió una propuesta de mejoramiento de las propiedades físico mecánicas del material granular para afirmado con la adición de 4% y 6% de residuos de construcción provenientes de la elaboración de concretos, con la finalidad de conocer si estos RC aportan alguna mejora a las propiedades físicas del material granular como son granulometría, límite líquido e índice plástico, así como a sus propiedades mecánicas de abrasión y CBR, siendo estos los parámetros que analiza las EG-2013 para ver si un material brinda las condiciones óptimas para ser empleados como afirmados, y de esta manera poder realizar un comparativo con dichos parámetros y los resultados obtenidos en el estudio en mención. Para tal fin se desarrolló los ensayos en el laboratorio de mecánica de suelos de la Universidad Privada del Norte sede Cajamarca de cada una de las propiedades antes mencionadas de acuerdo a las normas para ensayo de materiales establecidas en el Manual de Ensayo de Materiales del MTC-2016 [EM-MTC-2016], procediendo de la siguiente manera:

### 2.6.1. Proceso de recolección de material para afirmado (Cantera Don Lucho I)

El material en estudio proviene de la cantera denominado “Don Lucho I”, ubicada en la carretera salida a la costa aproximadamente en el km 2.5, para lo cual se identificó dos puntos extremos de la cantera y se extrajo el material, luego se dispuso de una cantidad considerable, en un solo lugar, de forma proporcional se cuarteó el material seleccionado y se identificó cada diagonal del cuarteo a través de letras. Tomando como muestra las partes identificadas como “A” y “C”, se almaceno la muestra elegida en sacos para ser transportada

al laboratorio donde se identificó mediante rotulado y se tomó notas de campo para distinguir cada material.

Cantera: Don Lucho I

Ubicación: Cajamarca – Carretera a la Costa Km. 2.5

COORDENADA UTM – WGS 84

Este: 775095.00

Norte: 9202972.00

Altitud: 2845.00



Figura 8. Ubicación cantera Don Lucho I.

### 2.6.2. Proceso de recolección de residuos de construcción

Los Residuos de construcción, generados en la ciudad de Cajamarca producto de la elaboración de concretos para la industria de la construcción se obtuvo de un botadero informal sin nombre ubicado a la margen derecha del aeropuerto en el trayecto carretera Cajamarca – Otuzco, de la misma forma para la recolección de material de afirmado se procedió para la recolección de los residuos de construcción,

Deposito: Residuos de construcción

Ubicación: Cajamarca – Carretera a Otuzco

COORDENADA UTM – WGS 84

Este: 777681.00

Norte: 9208859.00

Altitud: 2826.00

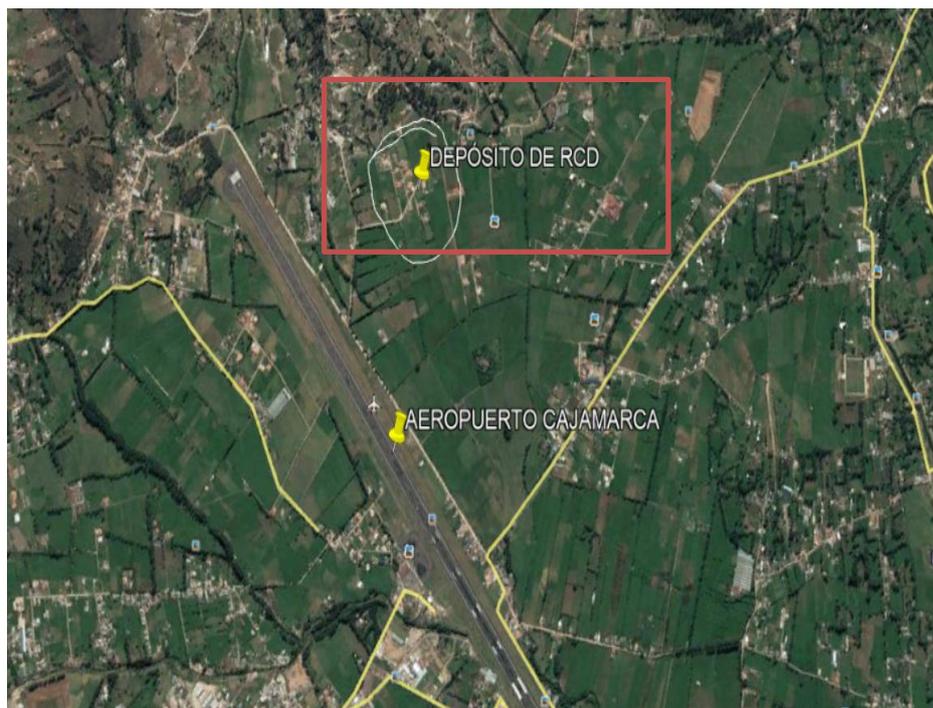


Figura 9. Ubicación depósito de residuos de construcción.

### 2.6.3. Proceso de selección y trituración de residuos de construcción

Una vez ubicado el depósito se recolectó y seleccionó los RC provenientes de la elaboración de concretos, tales como restos de concreto de elementos estructurales de edificaciones (vigas, columnas) sin refuerzo (acero) y pavimentos rígidos; cabe recalcar que no se ha considerado restos de material cerámico en la muestra. Para facilitar el transporte del material se optó por extraer la muestra en bloques menores a 30 cm y agregados parcialmente disgregados que además facilitaría el proceso de trituración.

Se procedió a la trituración de los bloques de RC de forma manual utilizando combas con el fin de poder obtener la gradación adecuada de la muestra, así se

disgrego y se uniformizó el material en partículas menores a 2” y mediante tamizado a través del tamiz N° 4 se obtuvo la fracción gruesa y fina del material convirtiéndose así los RC en agregado reciclado de concreto; para los análisis de las propiedades físico mecánicas tanto del agregado reciclado y su combinación con agregados naturales se siguió los lineamientos descritos en las normas establecidas vigentes en el país contempladas en el manual de ensayos de materiales del MTC 2016, tales como contenido de humedad MTC E 108/ASTM D 2216, análisis granulométrico MTC E 204/ASTM D 422, límites de consistencia MTC E 110-111/ASTM D 4318, abrasión de los ángeles MTC E 207/ASTM C 131, proctor modificado MTC E 115/ASTM D 1557 y CBR MTC E 132/ASTM D 1883, las cuales se describen líneas más abajo.

#### **2.6.4. Procedimiento de adición de residuos de construcción**

Para el ensayo de granulometría se tomó dos muestras de 5000 g de material de afirmado seco mediante cuarteo, y se determinó el porcentaje de adición en peso de RC por regla de tres simple siendo de 200 g para 4% y de 300 g para 6% de adición de RC, luego se mezcló hasta obtener una mezcla homogénea. Para el límite líquido se obtuvo material de afirmado seco pasante el tamiz N° 40 de aproximadamente 600 g., de la misma forma se obtuvo una porción de material fino de RC, seguido se dividió la muestra de material de afirmado en partes de 300 g., y se le adiciono RC de 12 g. dosificación al 4% y de 18 g. al 6%. En cuanto a la abrasión de acuerdo a la gradación del material, se eligió el método de ensayo “B”, luego se tomó muestras compuesta por 2500 g. de agregado grueso pasante el tamiz de 3/4" y retenido en el tamiz de 1/2" y 2500 g. pasante el tamiz de 1/2" y retenido en el tamiz de 3/8" y se adicionó 4% y 6% de RC a razón de 100 g. y 150 g. por cada 2500 g respectivamente. Para el ensayo proctor modificado se eligió el método de ensayado de acuerdo a la granulometría, así se optó por el método de ensayo “C” para ambos casos, se obtuvo material pasante la malla 3/4", tanto de material de afirmado y RC, se preparó 4 muestras de 6 kg por ensayo, y por cada 6 kg de material de afirmado se le adicionó 0.24 kg y 0.36 kg de RC dosificación al 4% y 6% respectivamente y se mezcló hasta obtener una muestra homogénea. Para el

ensayo CBR se preparó tres muestras de 6 kg de la misma manera que se hace para el ensayo proctor y se adicionó 0.24 kg y 0.36 kg de RC dosificación al 4% y 6% respectivamente, luego se añade el porcentaje de agua óptimo encontrado en el ensayo proctor y se compacta el material en 5 capas una muestra con 12 golpes, otra con 25 golpes y la otra con 56 golpes.

#### **2.6.5. Determinación del contenido de humedad (material de afirmado)**

Se determinó solo el contenido de humedad del material de afirmado proveniente de la cantera Don Lucho I, para eso se siguió los lineamientos descritos en la norma MTC E 108 / ASTM D 2216, se tomó tres muestras inalteradas de material mayores a 20 g, luego se identificó tres recipientes también conocidos como taras y se midió su peso, se colocó las muestras en cada recipiente y se obtuvo un peso del material húmedo, seguido se colocó las muestras en el horno a 105°C durante 24 horas, pasado este tiempo se volvió a pesar las tres muestras obteniendo así un peso seco del material, finalmente se calculó el contenido de humedad por diferencia de pesos y expresado en porcentaje (EM-MTC, 2016).

#### **2.6.6. Ensayo de análisis granulométrico por tamizado**

Se realizó de acuerdo a lo indicado en la norma MTC E 204 / ASTM D 422, se tomó tres muestras de 5000 g de material de afirmado mediante cuarteo, una como muestra patrón (muestra inalterada) y a los dos restantes se le adicionó RC, de 200 g para un 4% y de 300 g para una adición de 6% de RC, luego se mezcló hasta obtener una mezcla homogénea. Se tomó cada una de las muestras de 5000 g., 5200 g. y 5300 g. respectivamente y se separó el agregado grueso del agregado fino por tamizado a través del tamiz N° 4 y se procedió con el tamizado del agregado grueso. Para el análisis granulométrico del agregado fino se lavó aproximadamente 500 g de material en la malla N° 200 mediante chorro de agua, luego la muestra retenida en la malla N°200 se dejó secar al horno a una temperatura de  $110\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$  y se obtuvo su peso seco, se tamizó la muestra seca y se pesó el material retenido en cada tamiz, se calculó los porcentajes retenidos acumulados y los porcentajes que pasan cada malla y

finalmente se graficó la curva granulométrica en función de la abertura del tamiz y porcentaje de material que pasa dicho tamiz (EM-MTC, 2016).

### 2.6.7. Ensayo de límites de consistencia

Se procedió de acuerdo a los lineamientos descritos en la norma MTC E 110 – 111/ ASTM D 4318.

**Límite líquido:** Para este ensayo se obtuvo una porción de material de afirmado seco pasante el tamiz N° 40., de la misma forma se obtuvo una porción de material fino de RC, luego la muestra 1 se ensayó sin alterarla (muestra patrón) y para las muestras 2 y 3 se le adiciono RC de 12 g. dosificación al 4% y de 18 g. al 6%, seguido se batió el material en una vasija de porcelana con la espátula añadiéndole agua hasta obtener una pasta uniforme y se colocó en la copa de casa grande esparciéndola hasta formar una superficie de espesor aproximado de 1 cm, con el acanalador se ranuró la muestra dividiendo a la mitad, seguido se giró la manija para golpear la copa en la base y se anotó el número de golpes necesarios para cerrar la ranura en una longitud aproximada de 13 mm y se determinó el contenido de humedad del espécimen de suelo de cada prueba de acuerdo a la norma MTC E108, finalmente se dibujó la curva de fluidez en función del número de golpes en el eje de las abscisas y el contenido de humedad en el eje de las ordenadas (EM-MTC, 2016).

**Límite plástico:** Se utilizó el material preparado para el límite líquido de esta manera se tomó aproximadamente 20 g. de material y se amasó con agua, luego se empezó a enrollar el suelo con la palma de la mano sobre una placa de vidrio esmerilado hasta lograr formar cilindros de aproximadamente 3.2 mm en la que que el material se desmorona, luego se determinó su contenido de humedad según norma MTC E108, se repitió el mismo procedimiento una vez más siendo el límite plástico el promedio de las dos muestras ensayadas (EM-MTC, 2016).

Se calculó el índice de plasticidad (IP) del material mediante la diferencia que existe entre el límite líquido (LL) y el límite plástico (LP).

### 2.6.8. Clasificación AASHTO (ASTM D 3282)

Se realizó la clasificación del suelo para la muestra patrón con la ayuda de la tabla 14, para lo cual se realizó los ensayos de granulometría, límite líquido e índice de plasticidad, además para ello se determinó el índice de grupo cuyo valor va de 0 a 20 o más y si el suelo no tiene plasticidad (NP) se considera como índice de grupo (0), se calcula mediante la siguiente ecuación (AASHTO M 145).

$$IG = 0.2(a) + 0.005(ac) + 0.01(bd) \quad \text{Ecuación 15: Índice de grupo.}$$

Donde

IG = índice de grupo

a = % que pasa el tamiz N° 200 (35-75)

b = % que pasa el tamiz N° 200 (15-55)

c = Límite líquido (%)

d = índice de plasticidad (%)

### 2.6.9. Clasificación SUCS (ASTM D 2487)

Se clasifico ingresando a la tabla 15, para lo cual se tuvo en cuenta el porcentaje de grava, arena y finos que contiene el material, también se tuvo en cuenta los granos del suelo que se dividen en gravas (G) y arenas (S). Consideradas como gravas las partículas retenidas en el tamiz N° 4 y como arenas las partículas que pasan dicho tamiz y son retenidas en el tamiz N° 200. Tanto las gravas (G), como las arenas (S), se dividen en cuatro grupos secundarios, GW, GP, GM y GC y SW, SP, SM y SC, respectivamente, según la cantidad y tipo de los finos y la forma de la curva granulométrica, también se calculó los coeficientes  $C_u$  y  $C_c$  con las siguientes ecuaciones (SUCS - ASTM D 2487).

$$C_u = D_{60} / D_{10} \quad \text{Ecuación 16: Coeficiente de uniformidad.}$$

$$C_c = D_{30}^2 / (D_{60} * D_{10}) \quad \text{Ecuación 17: Coeficiente de curvatura.}$$

Donde

D60, D30 y D10 = Diámetro de partículas correspondientes al 10, 30 y 60 % del material pasante en la curva granulométrica de tamaño de partículas.

#### **2.6.10. Ensayo de Abrasión Los Ángeles**

Este ensayo se realizó en base a las indicaciones establecidas en la norma MTC E 207 / ASTM C 131. Primero de acuerdo a la gradación del material, se eligió el método de ensayo “B”, luego se tomó muestras compuesta por 2500 g. de agregado grueso pasante el tamiz de 3/4" y retenido en el tamiz de 1/2" y 2500 g. pasante el tamiz de 1/2" y retenido en el tamiz de 3/8". Para el ensayo 1 (muestra patrón) se utilizó 3 muestras, y para los ensayos 2 y 3 se adicionó 4% y 6% de RC a razón de 100 g. y 150 g. por cada 2500 g. respectivamente, seguido se colocó la muestra de ensayo y la carga abrasiva en la máquina de Los Ángeles y se hizo girar, luego se retiró el material y se tamizó por la malla N° 12, se lavó el material retenido en dicha malla y se secó al horno a 110 °C ± 5 °C, luego se pesó la masa seca, y se determinó el porcentaje de desgaste a la abrasión de los ángeles promediando los tres valores obtenidos (EM-MTC, 2016).

#### **2.6.11. Ensayo de proctor modificado (Compactación del suelo)**

Se procedió según los lineamientos descritos en la norma MTC E 115 / ASTM D1557. En primer lugar, se eligió el método de ensayado de acuerdo al resultado del análisis granulométrico del material, así se optó por el método de ensayo “C” para los tres casos, que nos indica utilizar material pasante la malla 3/4", se tamizó el material de afirmado y el material proveniente de la trituración de RC por dicha malla, luego para la muestra patrón se preparó 4 muestras de 6 kg, luego en muestras de 6 kg de material de afirmado se le adicionó 0.24 kg y 0.36 kg de RC dosificación al 4% y 6% respectivamente y se mezcló hasta obtener una muestra homogénea; seguido se humedeció las muestras con diferentes cantidades de agua, se registró el peso del molde proctor y seguido se ensambló el collar de extensión en el molde, luego se

colocó la primera la muestra en este y se compacto en 5 capas con 56 golpes por capa utilizando el pisón de compactación, seguido se retiró el collar de extensión y se enrazó el material con la ayuda de una regla metálica y se registró el peso del molde más la muestra húmeda, de la muestra ensayada se determinó su contenido de humedad según norma MTC E 108, finalmente se determinó la densidad húmeda y seca del suelo con las ecuaciones 9 y 10, para luego determinar el óptimo contenido de humedad (O.C.H.) y la densidad máxima seca (D.M.S), el mismo procedimiento se repitió con todas las muestras (EM-MTC, 2016).

#### **2.6.12. Ensayo CBR (California Bearing Ratio)**

Para este ensayo se procedió según lo establecido en la norma MTC E 132 / ASTM D1883. Se prepara la muestra de la misma manera que se hace para el ensayo proctor y luego se humedeció las muestras agregando la cantidad optima de agua obtenida en el ensayo de proctor modificado para cada caso, para ensayar las muestra preparadas se realizó en tres fases (compactación CBR, hinchamiento o expansión y esfuerzo – penetración).

**Compactación CBR:** Se pesó el molde con su base, se colocó el collar de extensión y el disco espaciador y sobre éste un disco de papel de filtro del mismo diámetro, se tomó las muestras y se compactó un espécimen en 5 capas con 12 golpes por capa otro con 25 golpes y un tercer espécimen con 56 golpes, luego se retiró el collar de extensión y se enrazó el material con la ayuda de una regla metálica, después se desmontó el molde y se volvió a colocar invertido sin disco espaciador y se colocó nuevamente papel filtro en la base, se registró el peso del molde más la muestra húmeda, de la muestra ensayada se determinó su contenido de humedad según norma MTC E 108, de la misma forma que en el ensayo proctor se determinó la densidad húmeda y seca y el contenido de humedad de cada molde (EM-MTC, 2016).

**Hinchamiento o expansión:** Estando ya invertidos los moldes la parte superior quedó libre, se volvió a colocar el collar de extensión, la sobrecarga, el trípode y el dial de expansión, luego se introdujo los moldes en agua durante 96 horas (4 días) y se registró las lecturas de expansión cada 24 horas (EM-MTC, 2016).

**Ensayo de esfuerzo – penetración:** Después de terminado el periodo de inmersión se sacó los moldes del agua, se retiró la sobrecarga, el collar de expansión, el trípode y el dial, se dejó drenar el agua durante 15 minutos y se volvió a pesar, luego se colocó la sobrecarga perforada en cada molde, se acondicionó cada muestra en la prensa de penetración CBR, se monta el dial medidor para medir la penetración del pistón y se aplica una carga de 50N (5 kg) con una velocidad de penetración uniforme de 1,27 mm (0,05") por minuto, se registró las lecturas de carga de cada muestra, nuevamente se determinó el contenido de humedad y la densidad saturada de cada molde, se determinó los esfuerzos correspondientes a la penetración de 0.1" y 0.2" y se calculó los índices CBR dividiendo cada valor de esfuerzo correspondiente a una penetración de 0.1" y 0.2" entre el esfuerzo patrón correspondiente, seguido se graficó las curvas de densidad seca vs CBR en función a los índices CBR y densidad seca, se determinó el índice CBR de diseño correspondiente al 100% de la máxima densidad seca y a una penetración de 0.1" (EM-MTC, 2016).

### CAPÍTULO III. RESULTADOS

En el presente capítulo se muestran los resultados obtenidos en el estudio, los cuales se determinaron mediante ensayos de laboratorio realizados en el laboratorio de suelos de la Universidad Privada del Norte, aquí se presenta el listado de todos los ensayos realizados.

#### 3.1. Propiedades y características de los residuos de construcción

Las características y propiedades para los residuos de construcción provenientes del concreto triturado se determinaron con la misma normativa vigente en el Perú al igual que para los agregados naturales.

Para la granulometría se trituró el material hasta obtener un tamaño máximo de 1” y se procedió al tamizado tanto de la fracción gruesa como de la fracción fina, se evidencia según la tabla 16 que contiene un alto porcentaje de agregado grueso con 76.4% y material fino de 23.96%.

Tabla 16  
*Análisis granulométrico RC*

N°	TAMIZ		% QUE PASA
	(pulg)	(mm)	
1	2"	50.00	100.00
2	1 ½"	37.50	100.00
3	1"	25.00	83.30
6	3/8"	9.50	42.81
5	N° 4	4.75	23.96
6	N° 10	2.00	8.65
7	N° 40	0.43	3.43
8	N° 200	0.075	1.23
19	Fondo	0	0.00
<b>Total</b>			

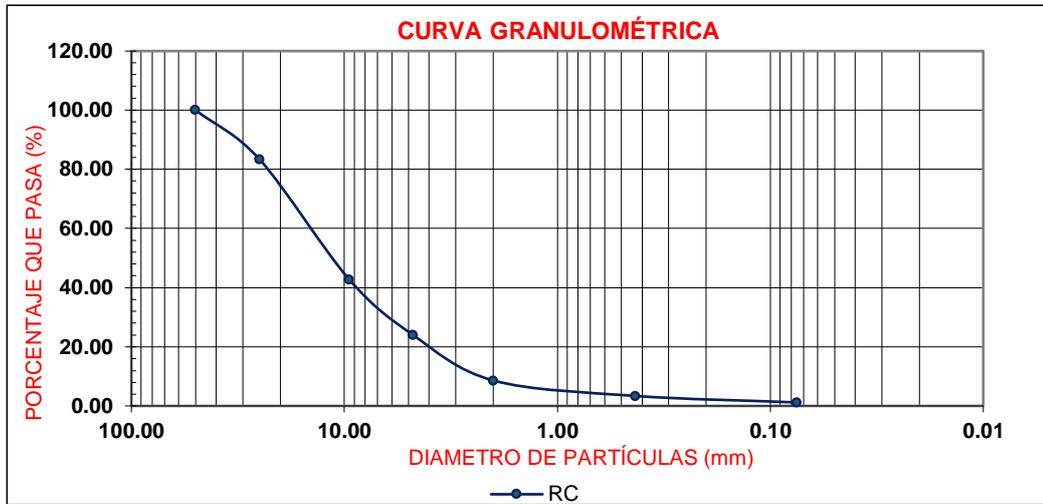


Figura 10. Curva granulométrica RC

Tabla 17

Resultados del análisis de RC

Ensayos realizados	RC
Clasificación AASHTO	A-1-a (0)
Clasificación SUCS	GW
Límite líquido	NP
Índice de plasticidad	NP
Abrasión	56%
<b>Proctor modificado</b>	
Densidad máxima seca	2.285 gr/cm <sup>3</sup>
Contenido de humedad óptimo	6.70%
CBR al 100% M.D.S - penetración 0.1"	43.75%

Como podemos apreciar en la tabla 17 para los RC se tiene un material A-1-a (0) según clasificación AASHTO y según la clasificación SUCS es un GW lo que indica un material compuesto por gravas bien graduadas con mezcla de grava y arena con poco o nada de material fino; no es posible determinar su límite líquido, además no presentan plasticidad, tienen un porcentaje de pérdida de 56 %, densidad máxima seca de 2.285 gr/cm<sup>3</sup> que se logra con un óptimo contenido de humedad de 6.70%, además presenta un CBR de 43.75%.

### 3.2. Contenido de humedad del material de afirmado

Se determinó solo el contenido de humedad del material para afirmado proveniente de la cantera Don Lucho I y es de 3.61 %.

### 3.3. Análisis granulométrico por tamizado de los agregados gruesos y finos

Se realizó el análisis granulométrico para determinar la cantidad en porcentaje de los diversos tamaños de las partículas tanto de la fracción gruesas y fina de los materiales. A continuación, se muestran los resultados de la distribución granulométrica de cada muestra ensayada en las tablas 18, 19 y 20 y en las figuras 11, 12 y 13 respectivamente.

Tabla 18  
*Análisis granulométrico muestra patrón*

N°	TAMIZ (pulg)	(mm)	% QUE PASA	ESPECIFIC.	
1	2"	50.00	<b>100.00</b>	100	100
2	1 ½"	37.50	<b>100.00</b>	100	100
3	1"	25.00	<b>93.66</b>	90	100
4	¾"	19.00	<b>86.62</b>	65	100
5	½"	12.50	<b>63.18</b>		
6	⅜"	9.50	<b>51.24</b>	45	80
7	N° 4	4.75	<b>31.56</b>	30	65
8	N° 10	2.00	<b>22.17</b>	22	52
9	N° 20	0.85	<b>17.12</b>		
10	N° 30	0.60	<b>13.74</b>		
11	N° 40	0.43	<b>10.95</b>	15	35
12	N° 60	0.25	<b>7.77</b>		
13	N° 100	0.15	<b>4.28</b>		
14	N° 200	0.075	<b>1.95</b>	5	20
15	Fondo	0	<b>0.00</b>		
<b>Total</b>					

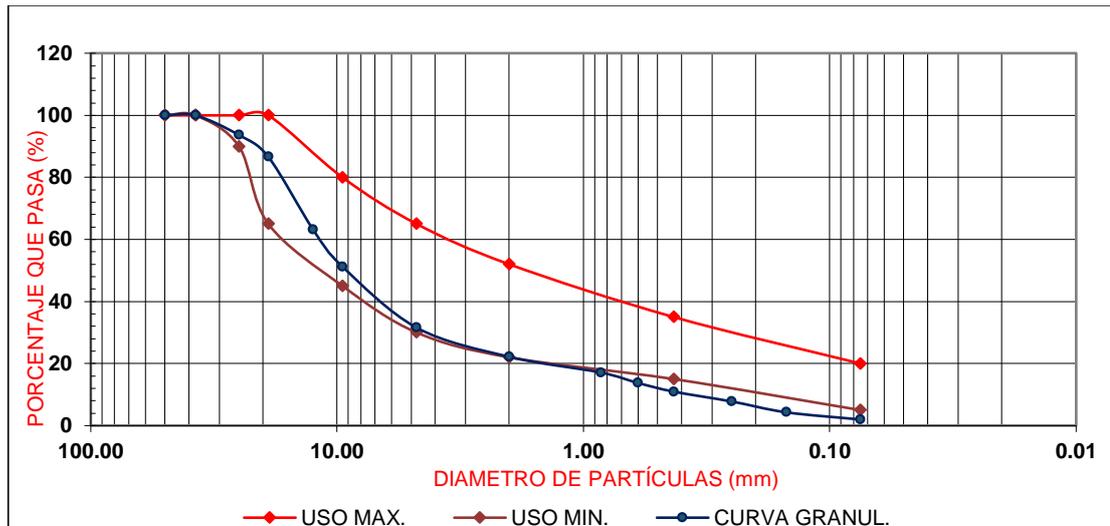


Figura 11. Curva granulométrica muestra patrón.

Tabla 19  
Análisis granulométrico con adición de 4% de residuos de construcción

N°	TAMIZ (pulg)	(mm)	% QUE PASA	ESPECIFIC.	
1	2"	50.00	<b>100.00</b>	100	100
2	1 ½"	37.50	<b>100.00</b>	100	100
3	1"	25.00	<b>94.37</b>	90	100
4	¾"	19.00	<b>90.04</b>	65	100
5	½"	12.50	<b>66.87</b>		
6	3/8"	9.50	<b>56.89</b>	45	80
7	N° 4	4.75	<b>37.47</b>	30	65
8	N° 10	2.00	<b>26.70</b>	22	52
9	N° 20	0.85	<b>20.32</b>		
10	N° 30	0.60	<b>17.01</b>		
11	N° 40	0.43	<b>12.91</b>	15	35
12	N° 60	0.25	<b>9.75</b>		
13	N° 100	0.15	<b>5.58</b>		
14	N° 200	0.075	<b>2.55</b>	5	20
15	Fondo	0	<b>0.00</b>		
<b>Total</b>					

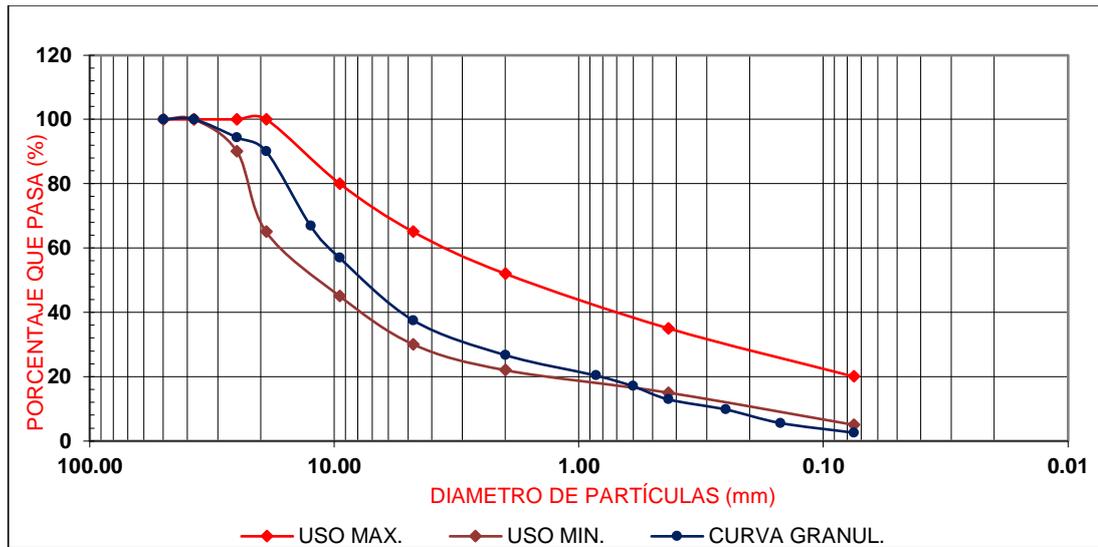


Figura 12. Curva granulométrica con adición de 4% de residuos de construcción.

Tabla 20

Análisis granulométrico con adición de 6% de residuos de construcción

N°	TAMIZ (pulg)	(mm)	% QUE PASA	ESPECIFIC.	
1	2"	50.00	<b>100.00</b>	100	100
2	1 ½"	37.50	<b>100.00</b>	100	100
3	1"	25.00	<b>94.57</b>	90	100
4	¾"	19.00	<b>90.14</b>	65	100
5	½"	12.50	<b>69.39</b>		
6	3/8"	9.50	<b>60.30</b>	45	80
7	N° 4	4.75	<b>42.60</b>	30	65
8	N° 10	2.00	<b>31.10</b>	22	52
9	N° 20	0.85	<b>23.85</b>		
10	N° 30	0.60	<b>19.40</b>		
11	N° 40	0.43	<b>15.56</b>	15	35
12	N° 60	0.25	<b>11.79</b>		
13	N° 100	0.15	<b>7.18</b>		
14	N° 200	0.075	<b>3.61</b>	5	20
15	Fondo	0	<b>0.00</b>		
<b>Total</b>					

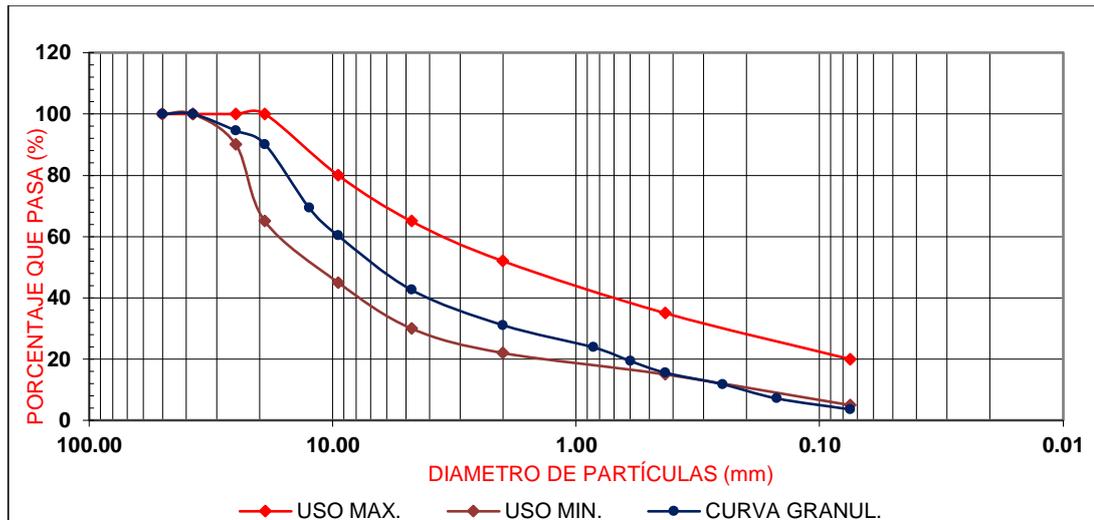


Figura 13. Curva granulométrica con adición de 6% de residuos de construcción.

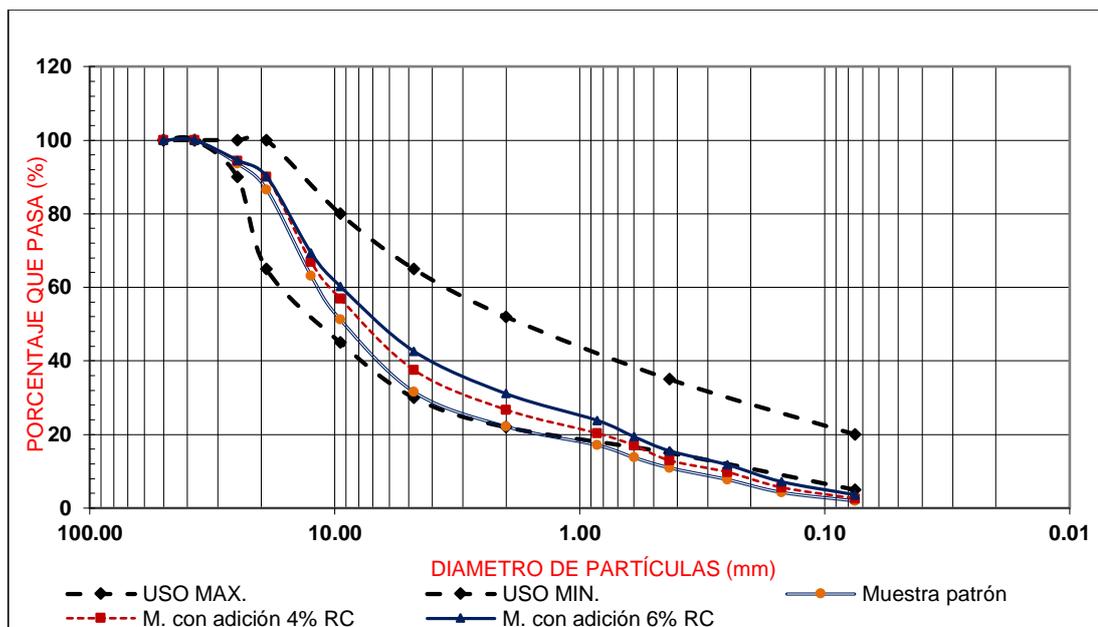


Figura 14. Variación de la curva granulométrica según muestras ensayadas.

### 3.4. Límites de consistencia

Se determinó los límites de consistencia como son límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad, como se observa en la tabla 21 se obtuvo un límite líquido para la muestra patrón de 17.35 %, para la muestra con adición de 4% de RC es de 15.91 % y para la muestra con adición de 6% de RC un valor de 15.60 %; las tres muestras ensayadas no presentaron plasticidad (NP), por ende, no tienen índice de plasticidad, se considera como material no plástico (NP).

Tabla 21  
Cuadro comparativo de los ensayos de límites de consistencia

ENSAYO	MUESTRA PATRON	4% DE RC	6% DE RC	ESPECIFICACIÓN
Límite líquido (%)	17.35	15.91	15.60	35 % Max.
Límite plástico (%)	NP	NP	NP	
Índice de plasticidad (%)	NP	NP	NP	4 % - 9 %.

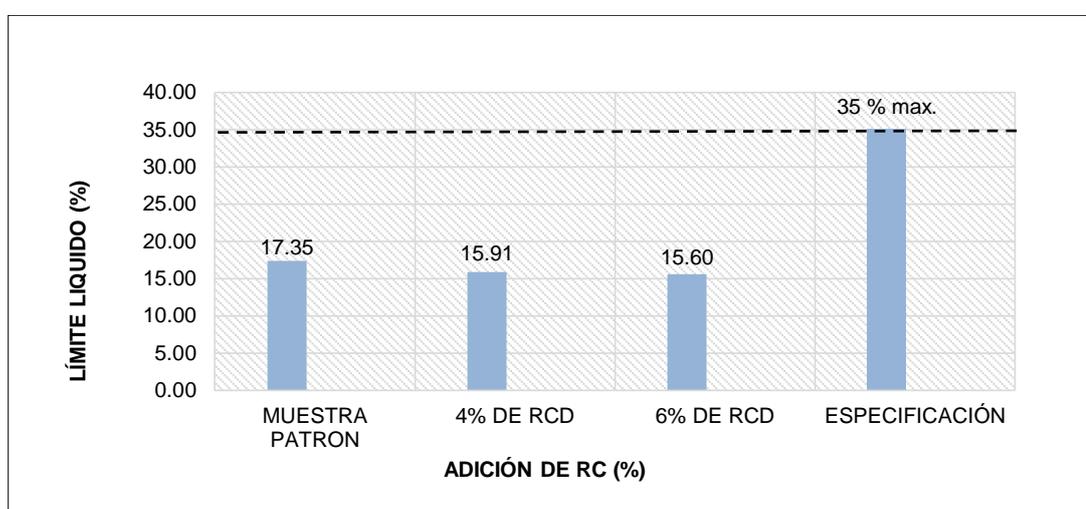


Figura 15. Variación del límite líquido.

### 3.5. Clasificación de suelos por el método AASHTO (ASTM D 3282)

Se clasificó el suelo por el método AASHTO, primero se calculó el índice de grupo [IG] de acuerdo a la ecuación 15 siendo este cero en los tres casos al no tener índice de plasticidad, luego se tomaron los porcentajes de material que pasaron las mallas, N°10, N° 40 y N° 200; según la tabla 18 para la muestra patrón en la N° 10 es de 22.17%, N° 40 es 10.95% y N° 200 de 1.95%, y de acuerdo a la tabla 21 el límite líquido es de 17.35% e índice plástico NP; según la tabla 19 para la muestra con adición de 4% de RC en la malla N° 10 es de 26.70%, N° 40 es 12.91% y N° 200 de 2.55%, un límite líquido de 15.91% e índice plástico NP según la tabla 21; y finalmente para la muestra con adición de 6% de RC de acuerdo a la tabla 20 en la malla N° 10 paso 31.10%, N° 40 fue 15.56% y N° 200 de 3.61%, un límite líquido de 15.60% e índice plástico NP de acuerdo a la tabla 21, luego con estos valores se ingresó a la tabla 14:

Clasificación AASHTO y se clasificó el suelo teniendo en cuenta la gradación de las partículas y los límites de consistencia del suelo, para los tres casos tenemos un suelo de tipo A-1-a (0), que indica que es un buen material donde predomina las gravas y arenas.

### 3.6. Clasificación de suelos por el método SUCS (ASTM D 2487)

Según las consideraciones indicadas por este método se clasificó el suelo; se determinó los parámetros en porcentaje de la fracción gruesa y fina del material considerando como fracción gruesa al material retenido en el tamiz N° 4 y como fracción fina el material pasante dicho tamiz, también se tuvo en cuenta el material que pasa el tamiz N° 200, además se calculó el coeficiente de uniformidad [Cu] y el coeficiente de curvatura [Cc] en base a la curva granulométrica y las ecuaciones 16 y 17 respectivamente; así para el caso de la muestra patrón según la tabla 18 se tiene un porcentaje retenido en el tamiz N° 4 de 68.44%, material pasante el tamiz N° 200 de 1.95%, Cu de 46.0 y Cc de 5.6 según la tabla 22, a partir de estas consideraciones se ingresó a la tabla 15: Clasificación SUCS, obteniendo para este suelo la categoría de gravas mal graduadas con mezcla de arena y poco o nada de material fino (GP); para la muestra con adición de 4% de RC de acuerdo a la tabla 19 se tiene un porcentaje retenido en el tamiz N° 4 de 62.53%, material pasante el tamiz N° 200 de 2.55%, según la tabla 22 Cu de 52.5 y Cc de 2.7; y finalmente para la muestra con adición de 6% de RC de acuerdo a la tabla 20 se tiene un porcentaje retenido en el tamiz N° 4 de 57.40%, material pasante el tamiz N° 200 de 3.61%, Cu de 52.2 y Cc de 1.9 de acuerdo a la tabla 22, con estos valores se ingresó a la tabla 15: Clasificación SUCS y se determinó que para ambos casos los suelos pertenecen a la categoría de gravas bien graduadas con mezcla de grava y arena con poco o nada de material fino (GW).

Tabla 22  
Coeficientes Cu y Cc para clasificación de suelos - SUCS

CÁLCULO DE Cu y Cc			
Muestra patrón			
<b>D10 =</b>	0.25	<b>Cu =</b>	<b>46.0</b>
<b>D30 =</b>	4.00		
<b>D60 =</b>	11.50	<b>Cc =</b>	<b>5.6</b>

Muestra con adición de 4% de RC			
D10 =	0.20	Cu =	52.5
D30 =	2.40		
D60 =	10.50	Cc =	2.7
Muestra con adición de 6% de RC			
D10 =	0.18	Cu =	52.2
D30 =	1.80		
D60 =	9.40	Cc =	1.9

### 3.7. Abrasión de los ángeles (% de desgaste de los materiales)

Se determinó el porcentaje de desgaste del material debido al impacto y trituración en un tambor de acero en rotación que contiene bolas de acero para medir su degradación como porcentaje de pérdida, siendo el porcentaje de pérdida por abrasión e impacto de acuerdo a la tabla 23: Cuadro comparativo de los ensayos de abrasión de 60.49 % para la muestra patrón, de 56.40 % para la muestra con adición del 4% de RC y de 50.21 % para la muestra con adición de 6% de RC.

Tabla 23  
Cuadro comparativo de los ensayos de abrasión

ENSAYO	MUESTRA PATRON	4% DE RC	6% DE RC	ESPECIFICACIÓN
Abrasión de los ángeles (%)	60.49	56.40	50.21	50 % Max.

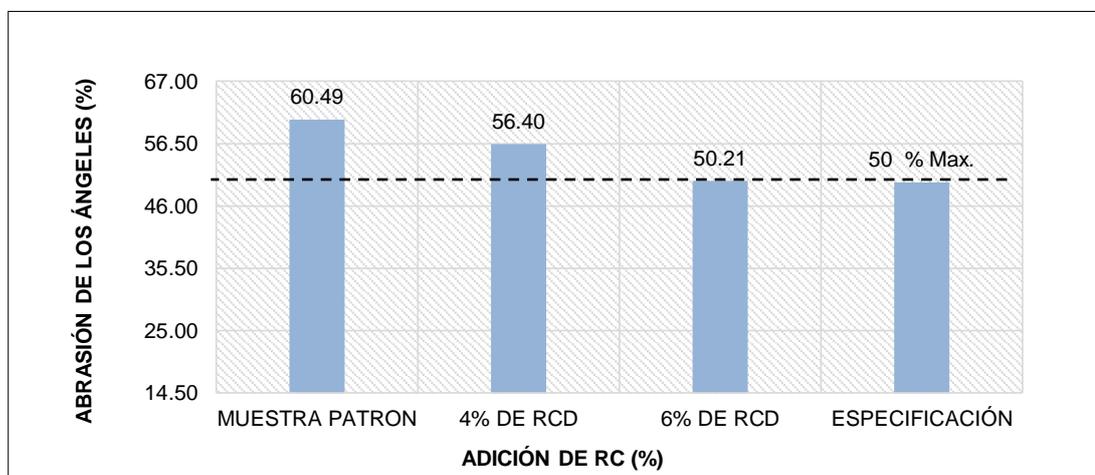


Figura 16. Variación del ensayo de abrasión los ángeles.

### 3.8. Proctor modificado (compactación del suelo)

Se realizó los ensayos de proctor modificado para lo cual se eligió el método de ensayo en base a la granulometría del material, en los tres casos se evidenció que el % de material retenido acumulado en la malla de 3/8" es > al 20% pero es < al 30% el % retenido acumulado del material en la malla de 3/4" con esta consideración se ingresó a la tabla 12: Elección del método de ensayo para proctor modificado y se eligió el método "C", que establece un material pasante el tamiz 3/4" para todos los casos, con el fin de encontrar valores relacionados a la máxima densidad del material, compactando el suelo mediante la aplicación de un proceso mecánico bajo diferentes condiciones de humedad para poder encontrar el óptimo contenido de humedad con la que un suelo puede alcanzar su máxima densidad. Según la tabla 24 se obtuvo una densidad máxima seca [D.M.S] de 2.251 gr/cm<sup>3</sup> y un óptimo contenido de humedad [O.C.H] de 6.0 % para la muestra patrón, para la muestra con adición 4% de RC su máxima densidad seca es 2.289 gr/cm<sup>3</sup> y un óptimo contenido de humedad de 6.6 % y para la muestra con adición de 6% de RC la densidad máxima seca es de 2.315 gr/cm<sup>3</sup> con un óptimo contenido de humedad de 7.3 %, estos resultados se presentan a continuación:

Tabla 24  
*Cuadro comparativo de los ensayos de proctor modificado*

ENSAYO PROCTOR MODIFICADO	MUESTRA PATRON	4% DE RC	6% DE RC
Densidad máx. seca (gr/cm <sup>3</sup> )	2.251	2.289	2.315
Opt. Cont. de humedad (%)	6.00	6.60	7.30

Como podemos apreciar en la tabla 24 la densidad máxima seca se va incrementando con respecto a la muestra patrón a medida que aumenta la adición de residuos de construcción al igual que el óptimo contenido de humedad también aumenta con relación a la adición de residuos de construcción, en las siguientes figuras podemos apreciar esta variación.

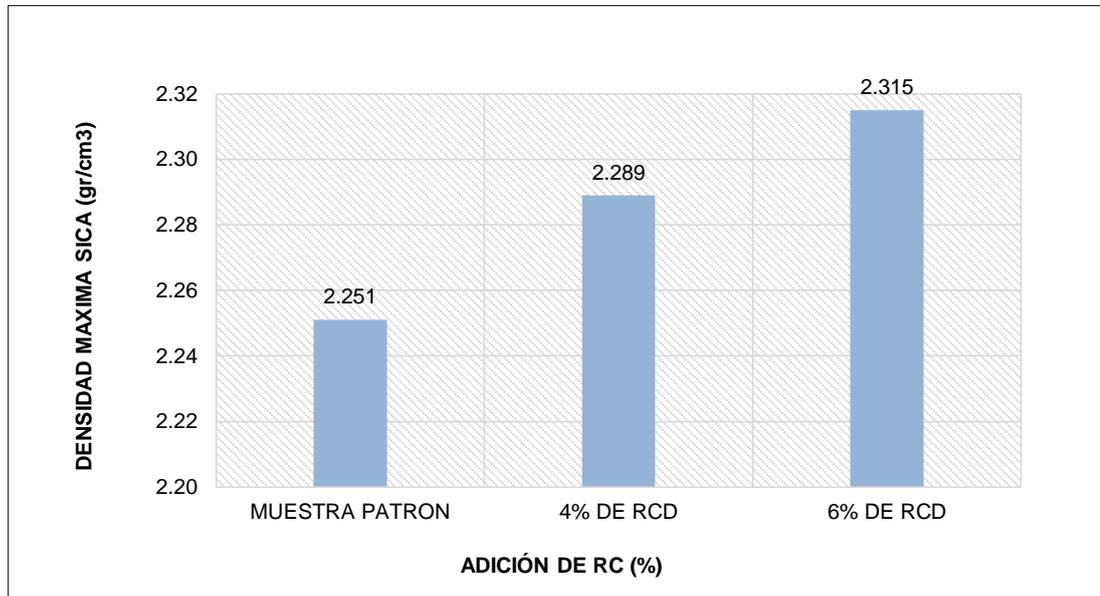


Figura 17. Variación de la máxima densidad seca.

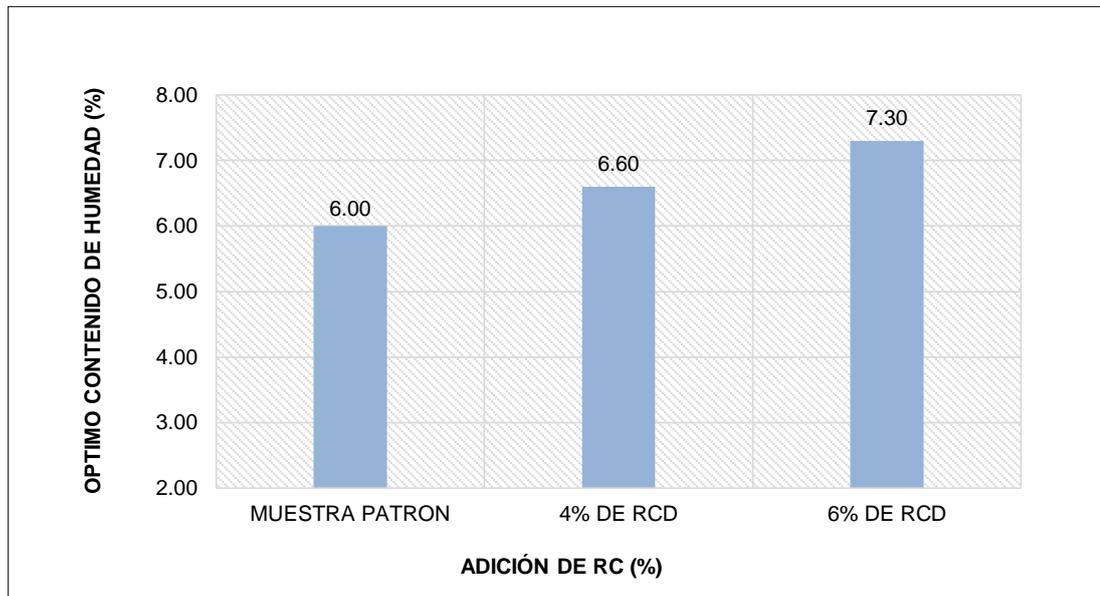


Figura 18. Variación del optimo contenido de humedad.

### 3.9. Ensayo CBR (California Bearing Ratio)

En base a los resultados del ensayo proctor modificado utilizando el método “C” y material pasante la malla 3/4" se realizó los ensayos de CBR que consistió en la determinación de un índice de resistencia o índice CBR de los suelos denominado

valor de soporte o resistencia del suelo, referido al 100% de la máxima densidad seca y a una penetración de 0.1" para efectos de esta investigación, el ensayo se realizó sobre suelo preparado en el laboratorio en condiciones determinadas de humedad y densidad, donde se obtuvo de acuerdo a la tabla 25: Cuadro comparativo de los ensayos de CBR, un CBR de 30.0 % para la muestra patrón, CBR de 34.9 % para la muestra con adición de 4% RC y para la muestra con adición de 6% de RC un CBR de 41.3 %

Tabla 25  
Cuadro comparativo de los ensayos CBR

ENSAYO CBR	MUESTRA PATRON	4% DE RC	6% DE RC	ESPECIFICACIÓN
<b>CBR al 100% D.M.S. a 0.1" de penetración (%)</b>	30.00	34.90	41.30	40 % Min.

Como podemos apreciar en la tabla 25 con respecto a la muestra patrón el índice CBR va incrementando a medida que aumenta la adición de residuos de construcción, en la siguiente figura podemos apreciar esta variación.

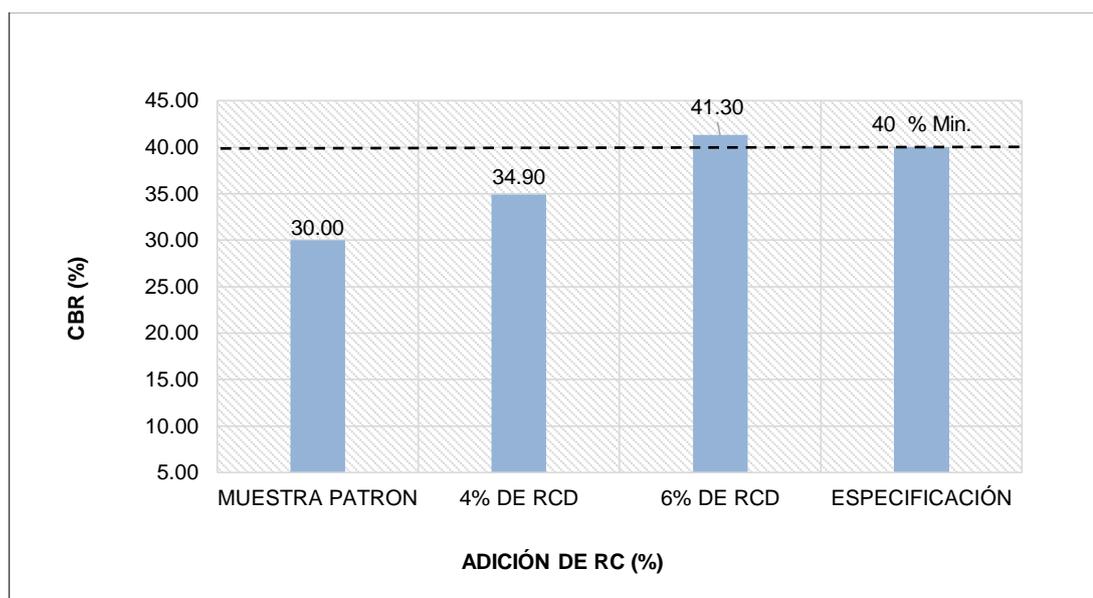


Figura 19. Variación del índice CBR.

## CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

### 4.1 Limitaciones

En cuanto a la obtención del material de afirmado en la cantera Don Lucho I en principio se negaron a proporcionarlo puesto que solo proporcionaban este material en grandes volúmenes mas no en pequeñas cantidades, pues se requería de aproximadamente 200 kg de material para este estudio, pero luego de conversar con ellos y explicar la situación accedieron a proveer este material.

Para la obtención de residuos de construcción se tuvo que ubicar un depósito con material parcialmente disgregado o que se encuentren en pequeños bloques para facilitar su traslado al laboratorio; además de esto para triturar los RC se buscó plantas chancadoras las cuales no accedieron a triturarlos por lo que su trabajo de estas estaba en base a 1 m<sup>3</sup> como mínimo, y no se requería de tal cantidad del material, por lo que se tuvo que triturar manualmente utilizando combas para poder obtener la fracción gruesa y fina de los mismos.

Para el uso de laboratorio de suelos de la Universidad Privada del Norte se tenía que solicitar con anticipación la reservación de este, debido a la gran demanda de alumnos de la carrera de ingeniería civil; además para realizar los ensayos respectivos teníamos que adecuarnos a los horarios establecidos para el uso del laboratorio, lo que generaba demora en la obtención de los resultados de la investigación.

## 4.2 Discusión

### 4.2.1. Propiedades y características de los residuos de construcción

De acuerdo a la tabla 16: Análisis granulométrico RC, se observa que la muestra ensayada contiene un alto porcentaje de agregado grueso con 76.04 % y una fracción fina de 23.96 %; de acuerdo a la figura 10: curva granulométrica de RC, se puede apreciar una curva sin sobresaltos pronunciados lo que indica una gradación adecuada. Según la tabla 17: Resultados de los análisis de RC, se puede apreciar que estos RC no presenta límite líquido tampoco plasticidad por ende el índice de plasticidad es nulo (NP); el porcentaje de desgaste del material es de 56 % de pérdida en peso del agregado; la densidad máxima seca es de 2.285 gr/cm<sup>3</sup> que se logra con un óptimo contenido de humedad de 6.70 %, además este presenta un CBR de 43.75%.

Estos resultados se asemejan a los obtenidos por Barrera y Olmedo (2015), en su tesis denominada: “Utilización de residuos de construcción y demolición [RCD] ligados con materiales cementantes en pavimentos”, según granulometría de agregado reciclado obtuvieron un 89 % de agregado grueso y un 11% de la fracción fina pues se evidencia una mayor concentración de material grueso en su composición, no presenta plasticidad, tienen un desgaste del material de 59%. En cuanto a la densidad máxima seca este presenta una menor densificación con 1.745 gr/cm<sup>3</sup> y es necesaria una mayor cantidad de agua siendo 16% el óptimo contenido de humedad; para el CBR encontraron un 99% de índice CBR muy superior a un 43.75% encontrado en esta investigación.

### 4.2.2. Análisis granulométrico de los agregados gruesos y finos

En la tabla 18: Análisis granulométrico de la muestra patrón, se observa que el material de afirmado presenta un 68.44 % de agregado grueso y un 31.56 % de agregado fino; en la figura 11: Curva granulométrica de la muestra patrón, se aprecia que el agregado grueso no presenta rangos fuera de los usos granulométricos establecidos en las EG-2013 en su sección 301, sin embargo,

el agregado fino cae bajo el nivel inferior del uso granulométrico a partir del tamiz N° 20 hasta el tamiz N° 200.

Según la tabla 19: Análisis granulométrico con adición de 4% de RC se obtuvo que el material tiene una fracción gruesa de 62.53 % y una fracción fina de 37.47 %, y de acuerdo a la figura 12: Curva granulométrica con adición de 4% de RC, se aprecia que el agregado grueso no presenta rangos fuera de los usos granulométricos, pero la fracción fina sufre una desviación a partir del tamiz N° 40 hasta el N° 200 respecto al límite inferior del uso granulométrico.

En la tabla 20: Análisis granulométrico con adición de 6% de RC se obtuvo que el material de afirmado presenta una fracción gruesa de 57.40 % y 42.60 % la fracción fina, según la figura 13: Curva granulométrica con adición de 6% de RC se observa que la fracción gruesa está dentro de los usos granulométricos; pero el material fino cae por debajo del límite inferior del uso granulométrico correspondiente al tamiz N° 200 con un porcentaje de 3.61%.

De acuerdo a la figura 14: Variación de la curva granulométrica de las muestras ensayadas, se aprecia que al adicionar 4% de RC al material de afirmado se mejora su distribución granulométrica, debido a que existe una mejor proporción entre el agregado grueso y el agregado fino; con la adición de 6 % de RC se obtuvo una curva granulométrica mejor graduada, con menores sobresaltos lo que indica una mejor distribución de los agregados.

Comparándolo con el estudio que hicieron Muñoz y Ubany (2018), en su artículo científico denominado: “Evaluación de las propiedades de residuos de construcción y demolición de concreto para su uso en la elaboración de sub-bases granulares”, tienen una tendencia semejante; pues obtuvieron que el material proveniente de RC para usar en sub-bases granulares, presenta un 57.40% de material grueso y 42.50% de material fino, con respecto los usos granulométricos para sub bases granulares el agregado grueso se encuentra dentro de los usos para los tamices de 1 ½" hasta el N° 4 que indica una buena gradación para ser utilizado como sub-base granular permitido por la norma

INVÍAS 330, además obtuvieron que el concreto triturado proveniente de RC posee un alto porcentaje de arena, que sobrepasa el uso granulométrico inferior hasta el tamiz N° 100 pero cae por debajo del límite inferior en el tamiz N° 200 con un porcentaje de 4.52%.

#### **4.2.3. Límites de consistencia**

De acuerdo a la tabla N° 21: Cuadro comparativo de los ensayos de límites de consistencia se tiene un límite líquido de 17.35% para la muestra patrón, con la adición de 4 % de RC este disminuye a 15.91% y al adicionar 6% de RC este disminuye a 15.60%. De acuerdo a la figura 15. Variación del límite líquido, podemos apreciar que el L.L. disminuye a medida que se incrementa el porcentaje de adición de RC en 1.44% y 1.75% al adicionara 4% y 6% de RC respectivamente; en base a las especificaciones técnicas para material de afirmado que rige las EG-2013, se aprecia que los tres casos estudiados se encuentran por debajo del 35% (requerimiento máximo).

De acuerdo a la tabla 21: Cuadro comparativo de los ensayos de límites de consistencia para los tres casos se obtuvo que el material de afirmado no presenta limite plástico debido a que no contiene finos arcillosos, por ende no presenta índice de plasticidad (NP); en este caso este parámetro no cumple, puesto que es necesario un índice de plasticidad entre 4 % y 9 % según las EG-2013, por lo que se afirma que tenemos un material exento de arcillas compuesto por gravas, arenas y limos no plásticos.

Los resultados obtenidos para el límite plástico son semejantes al estudio que realizaron Contreras y Herrera (2015), en su tesis denominada: “Mejoramiento del agregado obtenido de escombros de la construcción para bases y sub-bases de la estructura de un pavimento, que al mezclar 25 %, 40 % y 50% de material granular con agregado obtenido de escombros la mezcla no presentó límite plástico en ninguno de los casos por ende no cuenta con índice de plasticidad; por otro lado tampoco presento límite líquido, pero para nuestro caso si presenta límite liquido en todas las muestras, esto dependerá del tipo de material de cantera y de la composición de los residuos de construcción

seleccionados para él estudió. En cuanto a lo especificado en las EG-2013 para materiales de sub bases y bases estos no satisfacen este parámetro, pues se requiere de un índice de plasticidad de 6 % y 4 % respectivamente.

#### **4.2.4. Abrasión los ángeles**

Según la tabla 23: Cuadro comparativo de los ensayos de abrasión se observa que la abrasión es inversamente proporcional a la adición de RC, pues para la muestra patrón se tiene un porcentaje de pérdida de 60.49 %, con la adición de 4% de RC se redujo a 56.40 %, y con la adición de 6% de RC disminuyó a 50.21 %. De acuerdo a la figura 16: Variación del ensayo de abrasión los ángeles, se observa que la abrasión disminuye con respecto a la muestra patrón en un 4.09 % al adicionar 4 % de RC y un 10.28 % al adicionar 6 % de RC; Además con respecto a lo establecido por las EG-2013 para afirmados, se determinó que tanto la muestra patrón como la muestra con adición de 4% de RC están sobre el límite requerido para este parámetro, en tanto la muestra con adición de 6% de RC se encuentra en el límite máximo de pérdida permitido como se puede apreciar en la figura 16.

Esta tendencia se asemeja a los resultados obtenidos por Contreras y Herrera (2015), en su tesis denominada: “Mejoramiento del agregado obtenido de escombros de la construcción para bases y sub-bases de la estructura de un pavimento; hicieron la adición en proporciones más grandes de 25 %, 40 % y 50 % con material granular natural, obtuvieron para la muestra patrón 43 % de desgaste a la abrasión y a medida que se incrementó las proporciones de adición disminuyó la abrasión en 35 %, 32 % y 29 % respectivamente.

#### 4.2.5. Proctor modificado

Según la tabla 24: Cuadro comparativo de los ensayos de proctor modificado se determinó que tanto la densidad máxima seca y el óptimo contenido de humedad aumenta a medida que incrementa la adición de RC; como se observa en la figura 17: Variación de la densidad máxima seca, se tiene una densidad máxima seca de 2.251 gr/cm<sup>3</sup> para la muestra sin RC, al adicionar 4 % de RC la densidad máxima seca aumenta ligeramente a 2.289 gr/cm<sup>3</sup>, y con 6 % de adición de RC incrementa a 2.315 gr/cm<sup>3</sup>; Al igual que la densidad máxima seca el óptimo contenido de humedad también se incrementa como se aprecia en la figura 18: Variación del óptimo contenido de humedad, de 6.00 % para la muestra sin RC; a 6.60 % al adicionar 4 % de RC, y a 7.30 % con la adición de 6 % de RC.

Comparando estos resultados con la investigación de Contreras y Herrera (2015), en su tesis “Mejoramiento del agregado obtenido de escombros de la construcción para bases y sub-bases de la estructura de un pavimento”, la densidad máxima seca y el contenido de humedad presentan una tendencia similar, pues para la muestra patrón la densidad máxima seca es de 1.974 gr/cm<sup>3</sup> y un contenido de humedad de 7.50 %, y al incrementar la adición en 25 % y 40 % del agregado obtenido de escombros al material granular natural la densidad máxima seca aumenta en 2.044 gr/cm<sup>3</sup> y 2.071 gr/cm<sup>3</sup>, al igual que el óptimo contenido de humedad incrementa en 7.80 % y 8.30 % respectivamente.

#### 4.2.6. CBR (California Bearing Ratio)

De acuerdo a la tabla 25: Cuadro comparativo de los ensayos CBR, se puede observar que el CBR al 100 % de la máxima densidad seca (D.M.S.) y a una penetración de 0.1" aumenta considerablemente a medida que se incrementa el porcentaje de adición de RC, de 30.00% a 34.9 % al adicionar 4% de RC, y a 41.30 % con la adición de 6% de RC. De acuerdo a la figura 19: Variación del índice CBR, se aprecia que el CBR incrementa con respecto a la muestra patrón en un 4.9 % al adicionar 4 % de RC y un 11.3 % al adicionar 6 % de RC; en función a lo establecido en las EG-2013 para afirmados, según la figura 19 se observa que tanto la muestra patrón como la muestra con adición de 4% de RC se ubican por debajo del límite mínimo establecido para este parámetro, en tanto la muestra con adición de 6% de RC se encuentra sobre el límite mínimo permitido; de acuerdo a estos resultados se puede afirmar que los RC mejoran significativamente el CBR, aportándole así mayor resistencia al corte al material de afirmado.

En los resultados obtenidos la muestra patrón no presenta hinchamiento, después de saturado 96 horas; de igual forma las muestras con adición de residuos de construcción no registran expansión, aun después de 96 horas de saturación, esto se debe al tipo de material, pues el material está exento de arcillas.

Comparando los resultados con la investigación de Contreras y Herrera (2015), en su tesis “Mejoramiento del agregado obtenido de escombros de la construcción para bases y sub-bases de la estructura de un pavimento, la tendencia del CBR es semejante pero en mayor proporción, ya que en su investigación encuentran para la muestra patrón un CBR referido al 100% de la M.D.S. y a una penetración de 0.1" de 60.67 % , para las mezclas de 25 % y 40 % del agregado obtenido de escombros con material granular natural, el CBR incrementa a 86.72 % y a 113.97 %, respectivamente.

### 4.3 Implicancias

Este estudio sirve como base para futuras investigaciones sobre mejoramiento de materiales para estructura de pavimentos; se puede realizar una investigación adicionando un mayor porcentaje de RC que contengan un porcentaje de material cerámico arcilloso con la finalidad de aportar plasticidad al material y comprobar según la EG - 2013 si el material satisface la totalidad de los parámetros para bases y sub bases de pavimentos.

Llevar esta investigación a una comprobación en campo, a través de un tramo de prueba conformando una capa de afirmado con adición de 6% de RC y analizar cómo se comporta estructuralmente ante las cargas originadas por el tráfico vehicular; y de esta manera poder utilizarlo como una alternativa de material de afirmado en futuros proyectos de infraestructura vial.

Realizar un estudio con el 100% de residuos de construcción para determinar el uso que se les puede dar y que beneficios pueden aportar estos materiales en la estructura de los pavimentos; además cuantificar que tan significativa es la reducción de la contaminación medio ambiental al reutilizar estos recursos.

#### 4.4 Conclusiones

- ✓ Se puede constatar la hipótesis planteada en la investigación, puesto que la adición de residuos de construcción mejora la granulometría del material granular para afirmado e incrementa su resistencia a la abrasión con respecto a la muestra patrón, en 4.09 % y 10.28 % al adicionar 4 % y 6 % de RC respectivamente, e incrementa el CBR en un 4.90 % al adicionar 4 % de RC y hasta en un 11.30 % con la adición de 6 % de RC.
- ✓ Se determinó que la adición de 4 % y 6 % de RC influye positivamente en el mejoramiento de las propiedades físico mecánicas del material granular para afirmados, debido a la presencia de gravas y arenas que presenta, además del material cementante que incrementa la densificación del suelo en comparación a su estado natural.
- ✓ Se determinó la granulometría de cada una de las muestras (muestra patrón y muestras con adición de 4% y 6% de RC), de acuerdo a la figura 14 se observó que, al adicionar un mayor porcentaje de RC, mejora la distribución granulométrica del material, los cuales adoptan una curva granulométrica más centrado y mejor graduada respecto de la muestra patrón.
- ✓ En cuanto al límite líquido se establece una relación inversamente proporcional a la adición de RC con respecto a la muestra patrón, pues según la tabla 21 estos disminuyen a medida que aumenta la adición de RC de 17.35 % a 15.91 % y a 15.60 % al adicionar 4 % y 6 % de RC respectivamente. En cuanto al índice de plasticidad se determinó que el material no es plástico, esto debido a la falta de finos arcillosos.
- ✓ La abrasión de los ángeles se determinó que es inversamente proporcional a la adición de RC, esta disminuye a medida que se incrementa el porcentaje de adición; de acuerdo a la tabla 23 de 60.49 % a 56.40 % y 50.21 % para la adición de 4% y 6% de RC respectivamente.

- ✓ El CBR con respecto al 100 % de la máxima densidad seca y a una penetración de 0.1", incrementa a medida que aumenta el % de adición de RC con respecto a la muestra patrón de 30.00 % a 34.90 % con la adición de 4 % de RC y a 41.30 % con la adición de 6 % de RC.
- ✓ Se comparó los resultados obtenidos con los requisitos de calidad para afirmados según la sección 301 de las EG-2013. En cuanto a la granulometría para los tres casos el agregado grueso está dentro de los usos granulométricos por el contrario el agregado fino cae por debajo del uso inferior.
- ✓ El límite líquido se encuentra por debajo del 35% (límite máximo), con valores de 17.35%, 15.91% y 15.60%; en los tres casos el material no presenta plasticidad pues debería tener entre 4% y 9 % según las EG-2013.
- ✓ La abrasión en el caso de la muestra patrón y la muestra con adición de 4% de RC están sobre el 50 % límite máximo permisible con 60.49% y 56.40% respectivamente; para la muestra con 6% de RC se puede decir que se encuentra en el límite máximo con 50.21%.
- ✓ En cuanto al CBR tanto la muestra sin RC y la muestra con 4% de RC están por debajo del 40% límite mínimo según las EG-2013 con 30.00 % y 34.90 % respectivamente, en tanto la muestra con adición del 6% de RC se ubica sobre el 40% con un CBR de 41.30%.
- ✓ Se comprobó que las propiedades físicas (granulometría, límite líquido e índice de plasticidad) y propiedades mecánicas (abrasión y CBR) del material granular para afirmados al adicionar 4% y 6% de RC; satisfacen parcialmente los requisitos mínimos de calidad según la sección 301 de las EG-2013; para la muestra patrón y la muestra con adición de 4% de RC solo el límite líquido satisface con un 17.35 % y 15.91 % respectivamente que están por debajo del 35% establecido.

- ✓ En cuanto a la muestra con adición del 6 % de RC, satisface gran parte de los requisitos de calidad con una curva granulométrica más cercana a los usos granulométricos, límite líquido por debajo del máximo permitido con 15.60 %, la abrasión está en el límite máximo permitido con 50.21 % y un CBR de 41.30 % que es mayor a 40% límite mínimo establecido en las EG-2013; el material no presenta índice de plasticidad, parámetro en el que debe contener entre 4% y 9% según las EG-2013, por ende no satisface dicho requisito.

## REFERENCIAS

- Atarama Mondragón, E. (2015). *Evaluación de la transitabilidad para caminos de bajo tránsito estabilizados con aditivos proes* [Tesis de título profesional]. Repositorio de Universidad Nacional de Piura. [https://pirhua.udep.edu.pe/bitstream/handle/123456789/2262/ICI\\_215.pdf?sequence=1](https://pirhua.udep.edu.pe/bitstream/handle/123456789/2262/ICI_215.pdf?sequence=1)
- Barrera Figueroa, E. D., & Olmedo Payán, O. (2015). *Utilización de residuos de construcción y demolición (RCD) ligados con materiales cementantes en pavimentos* [Tesis de título profesional]. Repositorio de Pontificia Universidad Javeriana Cali Colombia. <http://vitela.javerianacali.edu.co/handle/11522/3439>
- Cuchí, A. & Sagrera, A. (Mayo, 2007). Reutilización y reciclaje de los residuos del sector de la construcción. *Revista Latinoamericana Ambiental*, p. 59, 60, 61, 62, 63, 64, 65, 66, 67, 68. Recuperado de [https://www.miteco.gob.es/ministerio/pags/Biblioteca/Revistas/pdf\\_AM/A\\_M\\_2007\\_66\\_59\\_68.pdf](https://www.miteco.gob.es/ministerio/pags/Biblioteca/Revistas/pdf_AM/A_M_2007_66_59_68.pdf)
- Contreras Quezada, K. B., & Herrera Lázaro, V. (2015). *Mejoramiento del agregado obtenido de escombros de la construcción para bases y sub-bases de estructura de pavimento en Nuevo Chimbote-Santa-Ancash* [Tesis de título profesional]. Repositorio de Universidad Nacional del Santa. <http://repositorio.uns.edu.pe/bitstream/handle/UNS/2708/42970.pdf?sequence=1&isAllow>
- Gutiérrez Montes, C. (2010). *Estabilización química de carreteras no pavimentadas en el Perú y ventajas comparativas del cloruro de magnesio frente al cloruro de calcio* [Tesis de título profesional]. Repositorio de Universidad Ricardo palma. [http://repositorio.urp.edu.pe/bitstream/handle/urp/116/gutierrez\\_ca.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://repositorio.urp.edu.pe/bitstream/handle/urp/116/gutierrez_ca.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

- Jiménez Montero, E. C., García Torres, H. (2016). *Aprovechamiento de los RCD en proyectos de construcción y conservación de pavimentos urbanos* [Tesis de título profesional]. Repositorio de Universidad Católica de Colombia. <https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/13905/4/Aprovechamiento%20de%20los%20RCD%20en%20proyectos%20de%20construcci%C3%B3n%20y%20conservaci%C3%B3n%20de%20pavimentos%20urbanos.pdf>
- Muñoz, S. & Ubany, J. (Febrero, 2018). Evaluación de las propiedades de residuos de construcción y demolición de concreto para su uso en la elaboración de sub-bases granulares. *Revista Latinoamericana Activa*, p. 80, 81, 82, 83, 84, 85, 86, 87, 88 ,89, 90. Recuperado de [file:///C:/Users/POPI/Downloads/496-Texto%20del%20art%C3%ADculo-1153-1-10-20180423%20\(2\).pdf](file:///C:/Users/POPI/Downloads/496-Texto%20del%20art%C3%ADculo-1153-1-10-20180423%20(2).pdf)
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2018). *Comunicación e información: Glosario de términos de uso frecuente en proyectos de infraestructura vial*. Recuperado de [http://www.proviasnac.gob.pe/Archivos/file/glosario\\_final\\_con\\_RM.pdf](http://www.proviasnac.gob.pe/Archivos/file/glosario_final_con_RM.pdf)
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2013). *Comunicación e información: Manual de carreteras, especificaciones técnicas generales para construcción EG-2013*. Recuperado de [http://transparencia.mtc.gob.p/idm\\_docs/Precentes/4955.pdf](http://transparencia.mtc.gob.p/idm_docs/Precentes/4955.pdf)
- Ministerio del Ambiente (2013). *Comunicación e información: Manejo de residuos de construcción y demolición en obras menores*. Recuperado de <http://minam.gob.pe/calidadambiental/wp-content/uploads/sites/22/2013/10/manejo-de-residuos-de-construcci%c3%93n-21-x-15-ok-2.pdf>

Ministerio de transportes y Comunicaciones (2020). *Comunicación e información: Diagnóstico de la situación de las brechas de infraestructura o de acceso a servicios.* Recuperado de

[https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/477819/Diagnostico\\_Brechas\\_PMI2021-2023.PDF](https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/477819/Diagnostico_Brechas_PMI2021-2023.PDF)

Ministerio de Transporte Y Comunicaciones (2016). Manual de ensayo para Materiales. Editorial limus.

Mercante, I. (2007). Caracterización de los residuos de construcción y aplicación de los índices de generación a la gestión ambiental. *Revista latinoamericana de Uces*, 11(2), 86-109. Recuperado de [http://dspace.uces.edu.ar:8180/xmlui/bitstream/handle/123456789/152/Caracterizaci%C3%B3n\\_de\\_residuos.pdf](http://dspace.uces.edu.ar:8180/xmlui/bitstream/handle/123456789/152/Caracterizaci%C3%B3n_de_residuos.pdf)

Perucámaras. (2020). Tomando tiempo: Reporte Regional (Publicación CD No. 15-2020). Departamento de Comercio, Producción, Turismo y Servicios., Cámara Nacional de Comercio. <https://perucamaras.org.pe/pdf/rr/415%20Reporte%20Regional%20MRN%20-%20CDXV.pdf>

Tafur Peralta, Y. (2015). *Estudio del comportamiento físico-mecánico del concreto diseñado y elaborado con agregado grueso reciclado en la ciudad de Cajamarca* [Tesis de título profesional]. Repositorio de Universidad Nacional de Cajamarca. <http://190.116.36.86/bitstream/handle/UNC/638/T%20666.893%20T124%202015.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

## ANEXOS

## ANEXOS 1

Tabla 26  
*Matriz de Operacionalización*

Variables	Definición	Indicador	Unidad
<ul style="list-style-type: none"> <li>Variable independiente</li> </ul>			
<b>Material granular para afirmado con la adición en peso de RC en % de 4 % y 6%</b>	Es la combinación de material de cantera con residuos generados en las actividades y procesos de construcción (Ministerio del Ambiente, 2013).	Cantidad en porcentaje de (RC).	%
<ul style="list-style-type: none"> <li>Variables dependientes</li> </ul>			
<b>Propiedades físicas</b>	Son aquellas propiedades que están relacionadas con el comportamiento de los materiales frente a acciones externas. (MTC, 2018)	Granulometría	%
		Limite líquido	%
		Índice de plasticidad	%
<b>Propiedades Mecánicas</b>	Son aquellas propiedades que están relacionadas con el comportamiento de los materiales cuando se someten a esfuerzos. (MTC, 2018)	Abrasión de los ángeles	%
		CBR	%

## ANEXOS 2

Tabla 27  
Matriz de consistencia

Nombre	Formulación del problema	Objetivo	Hipótesis	Variables	Población y Muestra	Diseño	Instrumentos
PROPUESTA DE MEJORAMIENTO DE LAS PROPIEDADES FÍSICO MECÁNICAS DEL MATERIAL GRANULAR CON LA ADICIÓN DE 4 % y 6 % DE RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN PARA SU USO EN AFIRMADOS SEGÚN LAS EG-2013	¿Cómo influye la adición de 4% y 6% de residuos de construcción en el mejoramiento de las propiedades físico mecánicas del material granular para su uso en afirmados según las EG-2013?	Determinar la influencia de la adición de 4% y 6% de residuos de construcción en el mejoramiento de las propiedades físico mecánicas del material granular para su uso en afirmados según las EG-2013.	La adición de 4 % y 6 % de residuos de construcción influye positivamente en el mejoramiento de las propiedades físico mecánicas del material granular, puesto que mejoran la granulometría del material e incrementa su resistencia a la abrasión y CBR del mismo hasta en 4 % al adicionar 4 % de RC y hasta en un 8 % con la adición de 6 % de RC.	<p><b>-Independiente</b></p> <p>Material granular para afirmado con la adición en peso de RC en % de 4 % y 6%</p> <p><b>-Dependientes</b></p> <p>Propiedades físicas -Granulometría -Limite líquido -Índice de plasticidad</p> <p>Propiedades Mecánicas -Abrasión -CBR</p>	<p>Se tomó como muestra la adición de residuos de construcción en porcentajes de 4% y 6%, por conveniencia se optó por un objeto de estudio que es el material granular proveniente de la cantera Don Lucho I como muestra patrón, así como la mezcla del mismo con residuos de construcción generados en la ciudad de Cajamarca en porcentajes de 4% y 6%.</p> <p>Se adoptó 1, 3 y 4 especímenes según el ensayo que corresponda tanto para el material de cantera como muestra patrón, así como para cada muestra con la adición de 4% y 6% de residuos de construcción, ensayándose un total de 45 muestras</p>	Experimental	<p>-Norma MTC E 108 y protocolo de ensayo de contenido de humedad, Balanza, recipientes (taras).</p> <p>-Norma MTC E 107 y protocolo de ensayo de análisis granulométrico, Serie de tamices.</p> <p>-Norma MTC E 110/111 y protocolo para ensayo de límites de consistencia, copa casa grande, placa de vidrio.</p> <p>-Norma MTC E 207 y protocolo de ensayo para Abrasión, máquina de los ángeles.</p> <p>-Norma MTC E 115 y protocolo de ensayo de proctor modificado, molde proctor, pisón manual.</p> <p>-Norma MTC E 132 y protocolo para ensayo CBR, moldes CBR, prensa CBR.</p>

### **ANEXOS 3: Panel fotográfico**



Figura 20. Recolección de material granular - cantera Don Lucho I.



Figura 21. Pesado de muestras para determinar el contenido de humedad del material.



Figura 22. Ensayo de contenido de humedad – peso de muestra inalterada.



Figura 23. Mesclado de material al adicionar RC para ensayo de granulometría.



Figura 24. Tamizado para determinar la distribución granulométrica del material.



Figura 25. Lavado de material por el tamiz N° 200 para granulometría de agregado fino.



Figura 26. Adición de 4 % de RC para ensayo de límites de consistencia.



Figura 27. Preparado de muestra para ensayo de Límite líquido.



Figura 28. Ensayo de límite líquido.



Figura 29. Ensayo de límite plástico.



Figura 30. Granulometría del material para ensayo de abrasión los ángeles.



Figura 31. Proceso de adición de RC para ensayo de abrasión los ángeles.



Figura 32. Muestra extraída de la máquina de los ángeles después del ensayo de abrasión.



Figura 33. Tamizado del material por la malla N° 12 para determinar el % de pérdida.



Figura 34. Proceso de adición de RC para ensayo de proctor modificado.



Figura 35. Preparación de muestra para ensayo de proctor modificado.



Figura 36. Compactación del material en molde tipo "C".



Figura 37. Compactación de muestras para ensayo CBR.



Figura 38. Ensayo de esfuerzo – penetración, prensa CBR.



Figura 39. Especímenes después de realizado el ensayo de esfuerzo penetración.

## **ANEXOS 4: Protocolos**

LABORATORIO DE SUELOS - UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE CAJAMARCA			
PROTOCOLO			
ENSAYO:	CONTENIDO DE HUMEDAD DEL MATERIAL GRANULAR PARA AFIRMADO		CODIGO DEL DOCUMENTO:
NORMA:	MTC E108 / ASTM D2216 / NTP 339.127		CH-LC-UPNC.
TESIS:	PROPIEDADES FÍSICO MECÁNICAS DE UN MATERIAL GRANULAR PARA AFIRMADO CON ADICIÓN DE RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN Y DEMOLICIÓN		
CANTERA:	DON LUCHO I	TIPO DE MATERIAL:	AFIRMADO
UBICACIÓN:	KM. 2.5 CARRETERA A LA COSTA	COLOR DE MATERIAL:	VARIOS
FECHA DE MUESTREO:	15/05/2018	RESPONSABLE:	ALEXEY ALVAREZ VASQUEZ
FECHA DE ENSAYO:	16/05/2018	REVISADO POR:	ING. FABIÁN SANCHEZ PORTAL

Temperatura de Secado

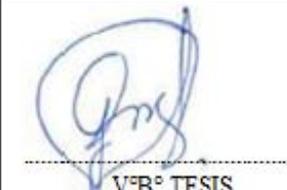
80 °C / 110 °C / Ambiente

Método

Horno 110 ± 5 °C

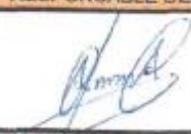
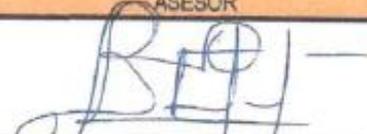
CONTENIDO DE HUMEDAD					
ID	DESCRIPCIÓN	UND	1	2	3
A	Identificación del recipiente o Tara				
B	Peso del Recipiente	gr	29.60	29.50	28.50
C	Recipiente + Suelo Húmedo	gr	150.70	131.20	162.40
D	Recipiente + Suelo Seco	gr	147.20	127.10	157.70
E	Peso del suelo húmedo (Ww) C - B	gr	121.10	101.70	132.90
F	Peso Suelo Seco (Ws) D - B	gr	117.60	97.60	128.20
W%	Porcentaje de humedad (E-F/ F) *100	%	2.98	4.20	3.67
G	Promedio Porcentaje Humedad	%	3.61		

$$(W\%) = \frac{Ww}{Ws} \cdot 100$$



V°B° TESIS  
Ing. Jane Alvarez Llanos

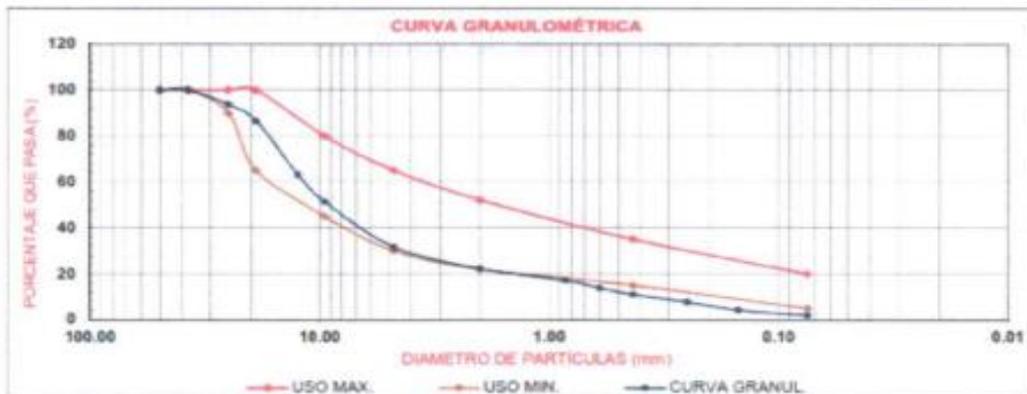
OBSERVACIONES:

RESPONSABLE DEL ENSAYO	COORDINADOR DE LABORATORIO	ASESOR
	 ERICO RAFAEL MUÑOZ BARBOZA INGENIERO CIVIL	
NOMBRE: ALEXEY ALVAREZ VASQUEZ	NOMBRE:	NOMBRE/ ING. FABIÁN SANCHEZ PORTAL
FECHA: 16 / 05 / 2018	FECHA: 16 / 05 / 2018	FECHA: 16 / 05 / 2018

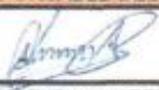
LABORATORIO DE SUELOS - UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE CAJAMARCA			
PROTOCOLO			
ENSAYO:	ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE AGREGADO GRUESO Y FINO (MUESTRA PATRON)		CODIGO DEL DOCUMENTO: AGGF-LG-UFNC:
NORMA:	MTC E 204 / ASTM C136 / NTP 400.012		
TESIS:	PROPIEDADES FÍSICO MECANICAS DE UN MATERIAL GRANULAR PARA AFIRMADO CON ADICIÓN DE RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN Y DEMOLICIÓN		
CANTERA:	DON LUCHO I	RETENIDO N° 4(gr):	984.00
UBICACIÓN:	KM 2.5 CARRETERA A LA COSTA	PASA N° 4(gr):	1578.00
FECHA DE MUESTRA:	15/05/2018	RESPONSABLE:	ALEXEY ALVAREZ VASQUEZ
FECHA DE ENSAYO:	16/05/2018	REVISADO POR:	ING. FABIAN SANCHEZ PORTAL

Peso de la muestra seca; Ws 5000.00 gr

N°	TAMIZ		PESO RETENIDO (gr)	% RETENIDO (%)	% RETENIDO ACUMULADO (%)	% QUE PASA	ESPECIFIC.	
	(pulg)	(mm)						
1	2"	50.00	0.00	0.00	0.00	100.00	100	100
2	1 1/2"	37.50	0.00	0.00	0.00	100.00	100	100
3	1"	25.00	317.00	6.34	6.34	93.66	90	100
4	3/4"	19.00	352.00	7.04	13.38	86.62	65	100
5	1/2"	12.50	1172.00	23.44	36.82	63.18		
6	3/8"	9.50	597.00	11.94	48.76	51.24	45	60
7	N° 4	4.75	984.00	19.68	68.44	31.56	30	65
8	N° 10	2.00	162.10	3.24	77.83	22.17	22	52
9	N° 20	0.85	87.20	1.74	82.86	17.12		
10	N° 30	0.60	58.30	1.17	86.26	13.74		
11	N° 40	0.43	48.20	0.96	89.05	10.95	15	35
12	N° 60	0.25	54.90	1.10	92.23	7.77		
13	N° 100	0.15	60.30	1.21	95.72	4.28		
14	N° 200	0.075	40.20	0.80	98.05	1.95	5	20
15	Fondo	0	33.70	0.67	100.00	0.00		
Total			544.90					



OBSERVACIONES:

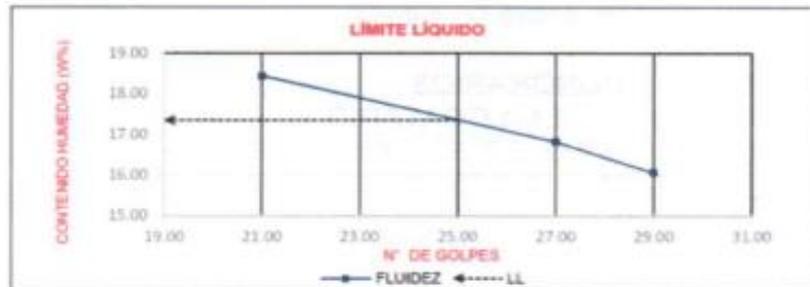
RESPONSABLE DEL ENSAYO	COORDINADOR DE LABORATORIO	ASESOR
	 ERIC RAZA INGENIERO DE SUELOS	 FABIAN SANCHEZ P. INGENIERO DE SUELOS
NOMBRE: ALEXEY ALVAREZ VASQUEZ	NOMBRE: ERIC RAZA	NOMBRE: ING. FABIAN SANCHEZ P.
FECHA: 16 / 05 / 2018	FECHA: 16 / 05 / 2018	FECHA: 16 / 05 / 2018

  
V°B° TESIS  
Ing. Jane Alvarez Llanos

<b>LABORATORIO DE SUELOS - UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE CAJAMARCA</b>			
<b>PROTOCOLO</b>			
<b>ENSAYO:</b>	LÍMITES DE PLASTICIDAD (MUESTRA PATRON)	<b>CODIGO DEL DOCUMENTO:</b>	
<b>NORMA:</b>	MTC E 110 / ASTM D4318 / NTP 339.130 - NTP E111	LP-LC-UPNC	
<b>TESIS:</b>	PROPIEDADES FÍSICO MECÁNICAS DE UN MATERIAL GRANULAR PARA AFIRMADO CON ADICIÓN DE RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN Y DEMOLICIÓN		
<b>CANTERA:</b>	DON LUCHO I	<b>TIPO DE MATERIAL:</b>	AFIRMADO
<b>UBICACIÓN:</b>	KM. 2.5 CARRETERA A LA COSTA	<b>COLOR DE MATERIAL:</b>	VARIOS
<b>FECHA DE MUESTRA:</b>	15/05/2018	<b>RESPONSABLE:</b>	ALEXEY ALVAREZ VASQUEZ
<b>FECHA DE ENSAYO:</b>	17/05/2018	<b>REVISADO POR:</b>	ING. FABIAN SANCHEZ PORTAL

LÍMITE LÍQUIDO (LL)					
ID	DESCRIPCIÓN	UND	1	2	3
A	Identificación de Recipiente	N°			
B	Suelo Húmedo + Recipiente	gr	78.60	56.30	48.30
C	Suelo Seco + Recipiente	gr	71.00	52.50	45.70
D	Peso de Recipiente	gr	29.80	29.90	29.50
E	Peso del Agua	gr	7.60	3.80	2.60
F	Peso Suelo Seco	gr	41.20	22.60	16.20
G	Número de Golpes	N	21	27	29
H	Contenido de Humedad	%	18.45	16.81	16.05

LÍMITE PLÁSTICO (LP)					
ID	DESCRIPCIÓN	UND	1	2	3
A	Identificación de Recipiente	N°			
B	Suelo Húmedo + Tara	gr			
C	Suelo Seco + Tara	gr			
D	Peso de Tara	gr			
E	Peso del Agua	gr			
F	Peso Suelo Seco	gr			
G	Contenido de Humedad	%			
H	Promedio Límite Plástico	%			



LL = 17.35      LP = 0      IP = NP

<b>OBSERVACIONES:</b> El material ensayado no presenta plasticidad		
<b>RESPONSABLE DEL ENSAYO</b>	<b>COORDINADOR DE LABORATORIO</b>	<b>ASESOR</b>
	 ERICK ALVAREZ VASQUEZ INGENIERO CIVIL	
NOMBRE: ALEXEY ALVAREZ VASQUEZ	NOMBRE:	NOMBRE: ING. FABIAN SANCHEZ
FECHA: 17 / 05 / 2018	FECHA: 17 / 05 / 2018	FECHA: 17 / 05 / 2018

  
V°B° TESIS  
Ing. Jane Alvarez Llanos

LABORATORIO DE SUELOS - UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE CAJAMARCA			
PROTOCOLO			
ENSAYO:	ABRASIÓN LOS ANGELES AL DESGASTE DE LOS AGREGADOS TAMAÑOS MENORES DE (1 1/2") (MUESTRA PATRON)	CODIGO DEL DOCUMENTO: ALA-LC-UPNOC	
NORMA:	MTC E 207 / ASTM C 131 / NTP 400.019		
TESIS:	PROPIEDADES FÍSICO MECANICAS DE UN MATERIAL GRANULAR PARA AFIRMADO CON ADICIÓN DE RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN Y DEMOLUCIÓN		
CANTERA:	DÓN LUCHO I	TIPO DE CANTERA:	DE CERRO
UBICACIÓN:	KM.2.5 CARRETERA A LA COSTA	TIPO DE MATERIAL:	AFIRMADO
FECHA DE MUESTRA:	15/05/2018	RESPONSABLE:	ALEXEY ALVAREZ VASQUEZ
FECHA DE ENSAYO:	18/05/2018	REVISADO POR:	ING. FABIÁN SANCHEZ PORTAL
MUESTREO			

GRANULOMETRÍA DE ENSAYO				
GRADACIÓN	"A"	"B"	"C"	"D"
CARGA ABRASIVA (N° de esferas de acero)	12	11	8	6

GRANULOMETRÍA DE LA MUESTRA DE AGREGADO PARA ENSAYO					
Tamiz (pasa)	Tamiz (retiene)	"A" (gr)	"B" (gr)	"C" (gr)	"D" (gr)
1 1/2"	1"	1250 ± 25			
1"	3/4"	1250 ± 25			
3/4"	1/2"	1250 ± 10	2500 ± 10		
1/2"	3/8"	1250 ± 10	2500 ± 10		
3/8"	1/4"			2500 ± 10	
1/4"	N° 4			2500 ± 10	
N° 4	N° 8				5000 ± 10
TOTALES		5000 ± 10	5000 ± 10	5000 ± 10	5000 ± 10

ID	DESCRIPCIÓN	UND	1	2	3
A	Peso muestra total	gr	5020	5005	5000
B	Peso retenido en tamiz N° 12	gr	1985	1954	1998
D	Desgaste a la abrasión Los Angeles $D = (A - B) * 100 / A$	%	60.46	60.96	60.04
Promedio		%	60.49		

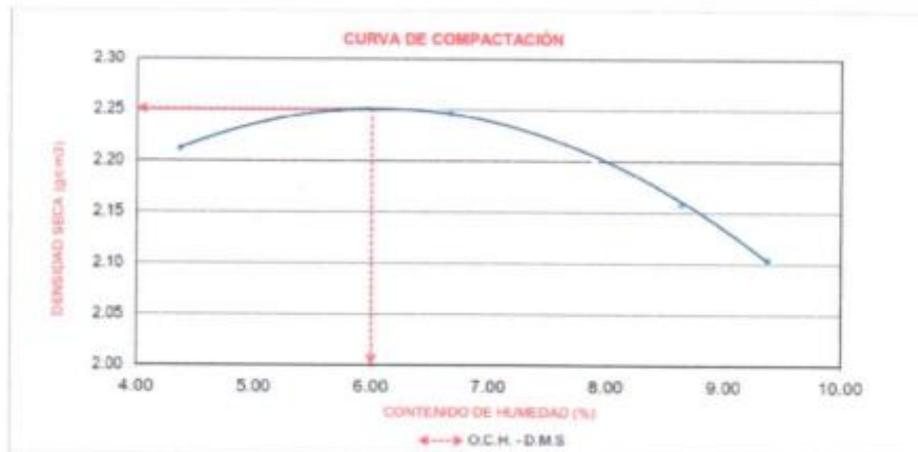
OBSERVACIONES:

RESPONSABLE DEL ENSAYO	COORDINADOR DE LABORATORIO	ASESOR
	 ERICK VASQUEZ CARRIÓN INGENIERO CIVIL	
NOMBRE: ALEXEY ALVAREZ VASQUEZ	NOMBRE:	NOMBRE: ING. FABIÁN SANCHEZ PORTAL
FECHA: 18 / 05 / 2018	FECHA: 18 / 05 / 2018	FECHA: 18 / 05 / 2018

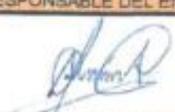
  
V°B° TESIS  
Ing. Jane Alvarez Llanos

LABORATORIO DE SUELOS - UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE CAJAMARCA			
PROTOCOLO			
ENSAYO:	COMPACTACIÓN PROCTOR MODIFICADO (MUESTRA PATRON)		CODIGO DEL DOCUMENTO: CPM-LS-UPNC.
NORMA:	MTC E 115 / ASTM D1557 / NTP 339.141		
TESIS:	PROPIEDADES FÍSICO MECÁNICAS DE UN MATERIAL GRANULAR PARA AFIRMADO CON ADICIÓN DE RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN Y DEMOLICIÓN		
CANTERA:	DON LUCHO I	TIPO DE MATERIAL:	AFIRMADO
UBICACIÓN:	KM. 2.5 CARRETERA A LA COSTA	COLOR DE MATERIAL:	VARIOS
FECHA DE MUESTRA:	15/05/2018	RESPONSABLE:	ALEXEY ALVAREZ VASQUEZ
FECHA DE ENSAYO:	17/05/2018	REVISADO POR:	ING. FABIAN SANCHEZ PORTAL

ID	DESCRIPCIÓN	UND	1	2	3	4				
A	Peso Molde	gr	6599.00	6599.00	6599.00	6599.00				
B	Peso Muestra Húmeda + Molde	gr	11503.00	11691.00	11578.00	11488.00				
C	Peso Muestra Húmeda	gr	4904.00	5092.00	4979.00	4889.00				
D	Volumen Muestra Húmeda	cm <sup>3</sup>	2124.00	2124.00	2124.00	2124.00				
F	Densidad húmeda: Dh	gr/cm <sup>3</sup>	2.309	2.397	2.344	2.302				
G	Recipiente	N°	T-1	T-2	T-3	T-4	T-5	T-6	T-7	T-8
H	Peso Recipiente	gr	27.30	27.00	27.40	26.80	27.70	30.00	27.40	27.30
I	Peso Muestra húmeda + Recipiente	gr	106.00	101.40	128.30	114.60	143.30	138.70	126.70	104.10
K	Peso Muestra Seca + Recipiente	gr	102.70	96.30	121.90	109.20	134.50	129.70	117.70	97.90
L	Peso Muestra Seca	gr	75.40	71.30	94.50	82.40	106.80	99.70	90.30	70.60
M	Contenido de Humedad W%	%	4.38	4.35	6.77	6.55	8.24	9.03	9.97	8.78
N	Promedio Contenido de humedad Óptimo	%	4.362	6.663	8.633	9.374				
O	Densidad Maxima Seca: D <sub>s</sub>	gr/cm <sup>3</sup>	2.212	2.248	2.158	2.105				



OBSERVACIONES:

RESPONSABLE DEL ENSAYO	COORDINADOR DE LABORATORIO	ASESOR
	 ERICK RAFAEL INGENIERO CIVIL REGISTRO NACIONAL DE INGENIEROS Y ARQUITECTOS	
NOMBRE: ALEXEY ALVAREZ VASQUEZ	NOMBRE:	NOMBRE: ING. FABIAN SANCHEZ PORTAL
FECHA: 17 / 05 / 2018	FECHA: 17 / 05 / 2018	FECHA: 17 / 05 / 2018

  
V<sup>o</sup>B<sup>o</sup> TESIS  
Ing. Jane Alvarez Llanos

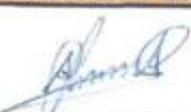
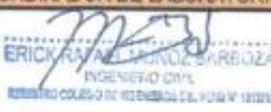
LABORATORIO DE SUELOS - UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE CAJAMARCA			
PROTOCOLO			
ENSAYO:	CALIFORNIA BEARING RATIO - CBR (MUESTRA PATRON)	CODIGO DEL DOCUMENTO: CBR-LS-UPNC	
NORMA:	MTC E 132 / ASTM D188		
TESIS:	PROPIEDADES FÍSICO MECÁNICAS DE UN MATERIAL GRANULAR PARA AFIRMADO CON ADICIÓN DE RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN Y DEMOLICIÓN		
CANTERA:	DON LUCHOT	TIPO DE MATERIAL:	AFIRMADO
UBICACIÓN:	K.M. 2.5 CARRETERA A LA COSTA	COLOR DE MATERIAL:	VARIOS
FECHA DE MUESTRA:	15/05/2018	RESPONSABLE:	ALEXEY ALVAREZ VASQUEZ
FECHA DE ENSAYO:	26/06/2018	REVISADO POR:	ING. FABIAN SANCHEZ PORTAL

COMPACTACIÓN - CBR										
DESCRIPCIÓN	UND	1		2		3				
N° Capas		5		5		5				
N° Golpes por Capa		13		27		56				
Condición de Muestra		Antes	Despues	Antes	Despues	Antes	Despues			
Peso Molde	gr	7250.00	7250.00	7211.00	7211.00	7264.00	7264.00			
Peso Muestra húmeda + Molde	gr	12130.00	12365.00	12205.00	12545.00	12410.00	12635.00			
Peso Muestra húmeda	gr	4880.00	5115.00	4994.00	5334.00	5146.00	5371.00			
Volumen Muestra húmeda	cm3	2081.35	2081.35	2083.18	2083.18	2081.35	2081.35			
Densidad húmeda: Dh	gr/cm3	2.345	2.455	2.397	2.561	2.472	2.581			
CONTENIDO DE HUMEDAD										
Ensayo	N°	1-A	1-B	1-C	2-A	2B	2C	3-A	3-B	3-C
Peso Recipiente	gr	29.70	29.50	25.90	27.50	29.80	29.50	30.10	26.90	27.20
Peso Muestra húmeda + Recipiente	gr	75.00	79.90	135.00	82.50	71.50	115.20	69.10	72.10	105.20
Peso Muestra Seca + Recipiente	gr	72.20	76.80	128.00	79.00	69.00	108.90	66.60	69.30	99.70
Peso del Agua	gr	2.80	3.10	7.00	3.50	2.50	6.30	2.50	2.80	5.50
Peso Muestra Seca	gr	42.50	47.30	102.10	51.50	39.20	79.40	36.50	42.40	72.50
Contenido de Humedad; W%	%	6.59	6.55	6.86	6.80	6.38	7.93	6.85	6.60	7.59
Promedio Contenido de Humedad	%	6.571		6.856	6.567		7.935	6.727		7.586
Densidad Máxima Seca; Ds	gr/cm3	2.290	2.308	2.349	2.372	2.317	2.399			

ENSAYO DE INCHAMIENTO										
TIEMPO ACUMULADO		MOLDE N° 01			MOLDE N° 02			MOLDE N° 03		
Horas	Días	Lectura	Hinchamiento		Lectura	Hinchamiento		Lectura	Hinchamiento	
		Deforma.	mm	%	Deforma.	mm	%	Deforma.	mm	%
		0.000		0.000	0.000		0.000		0.000	0.000
		0.000		0.000	0.000		0.000		0.000	0.000
		0.000		0.000	0.000		0.000		0.000	0.000
		0.000		0.000	0.000		0.000		0.000	0.000

OBSERVACIONES:

La muestra ensayada no presenta hinchamiento

RESPONSABLE DEL ENSAYO	COORDINADOR DE LABORATORIO	ASESOR
	 ERICK RIVALTA BARBOZA INGENIERO CIVIL REGISTRO COLEGIADO N° 102828 DEL 2010	
NOMBRE: ALEXEY ALVAREZ VASQUEZ	NOMBRE:	NOMBRE: ING. FABIAN SANCHEZ PORTAL
FECHA: 26 / 06 / 2018	FECHA: 26 / 06 / 2018	FECHA: 26 / 06 / 2018

  
VºBº TESIS  
Ing. Jane Alvarez Llanos

LABORATORIO DE SUELOS - UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE CAJAMARCA			
PROTOCOLO			
ENSAYO:	CALIFORNIA BEARING RATIO - CBR (MUESTRA PATRON)	CODIGO DEL DOCUMENTO: CBR-LS-UPNC:	
NORMA:	MTC E 132 / ASTM D188		
TESIS:	PROPIEDADES FÍSICO MECANICAS DE UN MATERIAL GRANULAR PARA AFIRMADO CON ADICIÓN DE RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN Y DEMOLICIÓN		
CANTERA:	DON LUCHO I	TIPO DE MATERIAL:	AFIRMADO
UBICACIÓN:	K.M. 2 5 CARRETERA A LA COSTA	COLOR DE MATERIAL:	VARIOS
FECHA DE MUESTRA:	15/05/2018	RESPONSABLE:	ALEXEY ALVAREZ VASQUEZ
FECHA DE ENSAYO:	11/08/2018	REVISADO POR:	ING. FABIAN SANCHEZ PORTAL

CARGA - PENETRACIÓN										
PENETRACIÓN		MOLDE N° 01			MOLDE N° 02			MOLDE N° 03		
mm	Pulg.	Carga Kg	Esfuerzo Kg/cm2 Lb/pl2		Carga Kg	Esfuerzo Kg/cm2 Lb/pl2		Carga Kg	Esfuerzo Kg/cm2 Lb/pl2	
0.00	0.000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.64	0.025	34.02	1.68	23.67	85.05	4.20	59.68	119.07	5.68	83.56
1.27	0.050	98.66	4.87	69.24	173.50	8.56	121.75	224.53	11.08	157.57
1.91	0.075	183.09	7.55	107.43	306.17	15.11	214.86	333.39	16.45	233.96
2.54	0.100	255.15	12.59	179.05	425.24	20.98	298.41	442.25	21.82	310.35
3.18	0.125	299.37	14.77	210.08	608.95	30.04	427.33	639.57	31.56	446.82
3.81	0.150	408.23	20.14	286.48	711.01	35.08	498.95	802.86	39.61	563.41
4.45	0.175	530.70	26.18	372.42	850.49	41.96	596.83	945.74	46.66	663.68
5.08	0.200	666.78	32.96	467.92	1003.57	49.51	704.26	1119.24	55.22	785.43
6.35	0.250	952.54	47.00	668.45	1207.89	59.59	847.50	1370.98	67.64	962.09
7.62	0.300	1108.63	54.55	775.88	1486.24	72.34	1028.94	1694.17	83.59	1188.89
8.89	0.350	1391.39	68.65	976.41	1786.02	88.12	1253.35	1922.10	94.83	1348.84
10.16	0.400	1663.55	82.08	1167.40	2116.01	104.40	1484.92	2160.23	106.58	1515.95
11.43	0.450	1837.05	90.84	1289.16	2218.07	109.44	1556.54	2374.56	117.16	1666.36
12.70	0.500	2000.34	98.69	1403.75	2306.52	113.80	1618.61	2425.59	119.67	1702.17

ESFUERZO PARA 0.1" Y 0.2"						
MOLDE	MOLDE N° 01		MOLDE N° 02		MOLDE N° 03	
	0.1"	0.2"	0.1"	0.2"	0.1"	0.2"
Penetración	0.1"	0.2"	0.1"	0.2"	0.1"	0.2"
Esfuerzo Terreno (Lb/pulg2)	179.05	467.92	298.41	704.26	310.35	785.43
Esfuerzo Patron (Lb/pulg2)	1000	1500	1000	1500	1000	1500
CBR (%)	17.91	31.19	29.84	46.95	31.04	52.36

CBR Y DENSIDAD SECA						
MOLDE	MOLDE N° 1		MOLDE N° 2		MOLDE N° 3	
	0.1"	0.2"	0.1"	0.2"	0.1"	0.2"
Penetración	0.1"	0.2"	0.1"	0.2"	0.1"	0.2"
CBR (%)	17.91	31.19	29.84	46.95	31.04	52.36
Ds(g/cm3)	2.20	2.20	2.25	2.25	2.32	2.32

OBSERVACIONES:

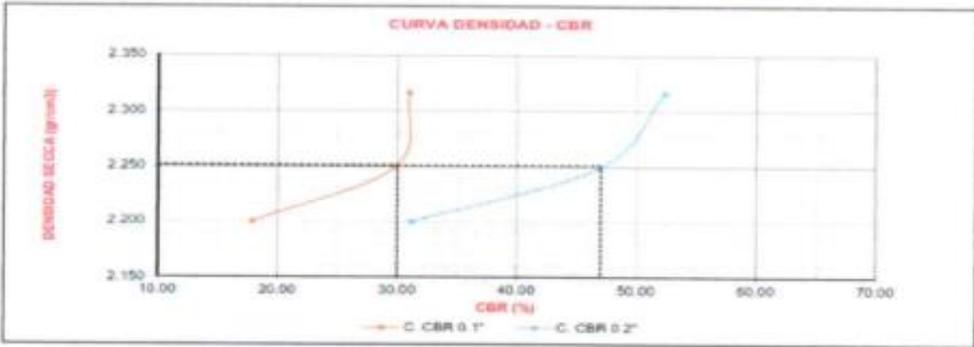
RESPONSABLE DEL ENSAYO	COORDINADOR DE LABORATORIO	ASESOR
	 ERICK P. SANCHEZ INGENIERO EN SUELOS SECRETARÍA DE INVESTIGACIONES C. I. 1017	
NOMBRE: ALEXEY ALVAREZ VASQUEZ	NOMBRE:	NOMBRE: ING. FABIAN SANCHEZ PORTAL
FECHA: / 01 / 07 / 2018	FECHA: 01 / 07 / 2018	FECHA: 01 / 07 / 2018

  
V°B° TESIS  
Ing. Jane Alvarez Llanos

LABORATORIO DE SUELOS - UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE CAJAMARCA			
PROTOCOLO			
ENSAYO:	CALIFORNIA BEARING RATIO - CBR (MUESTRA PATRON)		CODIGO DEL DOCUMENTO: CBR-LS-UPNC
NORMA:	MTC E 132 / ASTM D188		
TESIS:	PROPIEDADES FÍSICO MECÁNICAS DE UN MATERIAL GRANULAR PARA AFIRMADO CON ADICIÓN DE RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN Y DEMOLICIÓN		
CANTERA:	DON LUCHO I	TIPO DE MATERIAL:	AFIRMADO
UBICACIÓN:	K.M. 2.5 CARRETERA A LA COSTA	COLOR DE MATERIAL:	VARIOS
FECHA DE MUESTRA:	15/05/2018	RESPONSABLE:	ALEXEY ALVAREZ VASQUEZ
FECHA DE ENSAYO:	11/06/2018	REVISADO POR:	ING. FABIAN SANCHEZ PORTAL

MAXIMA DENSIDAD SECA (gr/cm <sup>3</sup> )	2.251
95% MAXIMA DENSIDAD SECA (gr/cm <sup>3</sup> )	2.14
CBR 0.1" (%)	30.00
CBR 0.2" (%)	47.00

**CURVA DENSIDAD - CBR**



**CURVA ESFUERZO vs PENETRACION (13 GOLPES)**

CBR (%) 0.1" 17.91  
CBR (%) 0.2" 31.19



**CURVA ESFUERZO vs PENETRACION (27 GOLPES)**

CBR (%) 0.1" 29.84  
CBR (%) 0.2" 46.95



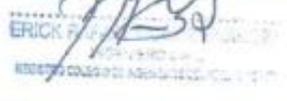
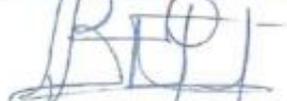
**CURVA ESFUERZO vs PENETRACION (56 GOLPES)**

CBR (%) 0.1" 31.04  
CBR (%) 0.2" 52.36

OBSERVACIONES:

RESPONSABLE DEL ENSAYO	COORDINADOR DE LABORATORIO	ASESOR
		
NOMBRE: ALEXEY ALVAREZ VASQUEZ	NOMBRE:	NOMBRE: ING. FABIAN SANCHEZ PORTAL
FECHA: / 01 / 07 / 2018	FECHA: 01 / 07 / 2018	FECHA: 01 / 07 / 2018

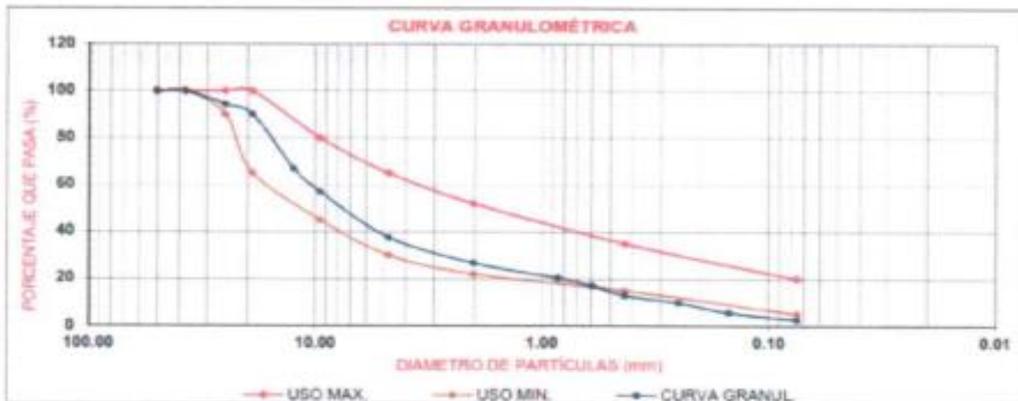


V<sup>o</sup>B<sup>o</sup> TESIS  
Ing. Jane Alvarez Llanos

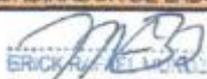
LABORATORIO DE SUELOS - UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE CAJAMARCA			
PROTOCOLO			
ENSAYO:	ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE AGREGADO GRUESO Y FINO (CON ADICIÓN DEL 4% DE RCD)	CODIGO DEL DOCUMENTO: AGGF-LC-UFNC.	
NORMA:	MTC E 204 / ASTM C136 / NTP 400.012		
TESIS:	PROPIEDADES FÍSICO MECANICAS DE UN MATERIAL GRANULAR PARA AFIRMADO CON ADICIÓN DE RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN Y DEMOLICIÓN		
CANTERA:	DON LUCHO I	RETENIDO N° 4(gr):	1010.00
UBICACIÓN:	KM 2.5 CARRETERA A LA COSTA	PASA N° 4(gr):	1948.44
FECHA DE MUESTRA:	15/05/2018	RESPONSABLE:	ALEXEY ALVAREZ VASQUEZ
FECHA DE ENSAYO:	29/05/2018	REVISADO POR:	ING. FABIAN SANCHEZ PORTAL

Peso de la muestra seca: Ws 5200.00 gr

N°	TAMIZ		PESO RETENIDO (gr)	% RETENIDO (%)	% RETENIDO ACUMULADO (%)	% QUE PASA	ESPECIFIC.	
	(pulg)	(mm)						
1	2"	50.00	0.00	0.00	0.00	100.00	100	100
2	1 1/2"	37.50	0.00	0.00	0.00	100.00	100	100
3	1"	25.00	293.00	5.63	5.63	94.37	90	100
4	3/4"	19.00	225.00	4.33	9.96	90.04	65	100
5	1/2"	12.50	1205.00	23.17	33.13	66.87		
6	3/8"	9.50	519.00	9.98	43.11	56.89	45	80
7	N° 4	4.75	1010.00	19.42	62.53	37.47	30	65
8	N° 10	2.00	160.90	10.77	73.30	26.70	22	52
9	N° 20	0.85	95.30	6.38	79.68	20.32		
10	N° 30	0.60	49.50	3.31	82.99	17.01		
11	N° 40	0.43	61.20	4.10	87.09	12.91	15	35
12	N° 60	0.25	47.20	3.16	90.25	9.75		
13	N° 100	0.15	62.30	4.17	94.42	5.58		
14	N° 200	0.075	45.20	3.03	97.45	2.55	5	20
15	Fondo	0	38.20	2.56	100.00	0.00		
Total			559.80					



OBSERVACIONES:

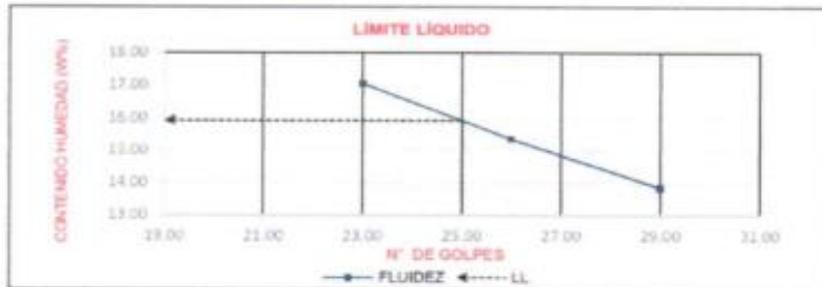
RESPONSABLE DEL ENSAYO	COORDINADOR DE LABORATORIO	ASESOR
		
NOMBRE: ALEXEY ALVAREZ VASQUEZ	NOMBRE: ERICK ALVAREZ VASQUEZ	NOMBRE: ING. FABIAN SANCHEZ P.
FECHA: 29 / 05 / 2018	FECHA: 29 / 05 / 2018	FECHA: 29 / 05 / 2018

  
V°B° TESIS  
Ing. Jane Alvarez Llanos

LABORATORIO DE SUELOS - UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE CAJAMARCA			
PROTOCOLO			
ENSAYO:	LÍMITES DE PLASTICIDAD (CON ADICIÓN DEL 4% DE RCD)	CODIGO DEL DOCUMENTO: LP-LC-UPNC	
NORMA:	MTC E 110 / ASTM D4318 / NTP 339.130 - NTP E111		
TESIS:	PROPIEDADES FÍSICO MECANICAS DE UN MATERIAL GRANULAR PARA AFIRMADO CON ADICIÓN DE RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN Y DEMOLICIÓN		
CANTERA:	DON LUCHO I	TIPO DE MATERIAL:	AFIRMADO
UBICACIÓN:	KM. 2.5 CARRTERA A LA COSTA	COLOR DE MATERIAL:	VARIOS
FECHA DE MUESTRA:	15/05/2018	RESPONSABLE:	ALEXEY ALVAREZ VASQUEZ
FECHA DE ENSAYO:	29/05/2018	REVISADO POR:	ING. FABIAN SANCHEZ PORTAL

LÍMITE LÍQUIDO (LL)					
ID	DESCRIPCIÓN	UND	1	2	3
A	Identificación de Recipiente	N°			
B	Suelo Húmedo + Recipiente	gr	51.70	46.50	49.80
C	Suelo Seco + Recipiente	gr	48.51	44.00	47.10
D	Peso de Recipiente	gr	29.80	27.70	27.60
E	Peso del Agua	gr	3.19	2.50	2.70
F	Peso Suelo Seco	gr	18.71	16.30	19.50
G	Número de Golpes	N	23	26	29
H	Contenido de Humedad	%	17.05	15.34	13.85

LÍMITE PLÁSTICO (LP)					
ID	DESCRIPCIÓN	UND	1	2	3
A	Identificación de Recipiente	N°			
B	Suelo Húmedo + Tara	gr			
C	Suelo Seco + Tara	gr			
D	Peso de Tara	gr			
E	Peso del Agua	gr			
F	Peso Suelo Seco	gr			
G	Contenido de Humedad	%			
H	Promedio Límite Plástico	%			



LL = 15.91      LP = 0      IP = NP

OBSERVACIONES:

El material ensayado no presenta plasticidad

RESPONSABLE DEL ENSAYO	COORDINADOR DE LABORATORIO	ASESOR
		
NOMBRE: ALEXEY ALVAREZ VASQUEZ	NOMBRE: ERIC RIVAS	NOMBRE: ING. FABIAN SANCHEZ
FECHA: 29 / 05 / 2018	FECHA: 29 / 05 / 2018	FECHA: 29 / 05 / 2018

  
V°B° TESIS  
Ing. Jane Alvarez Llanos

LABORATORIO DE SUELOS - UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE CAJAMARCA			
PROTOCOLO			
ENSAYO:	ABRASIÓN LOS ANGELES AL DESGASTE DE LOS AGREGADOS TAMAÑOS MENORES DE (1 1/2") (CON ADICIÓN DEL 4% DE RCD)		CODIGO DEL DOCUMENTO: ALA-LC-UPNO
NORMA:	MTC E 207 / ASTM C 131 / NTP 400.019		
TESIS:	PROPIEDADES FÍSICO MECANICAS DE UN MATERIAL GRANULAR PARA AFIRMADO CON ADICIÓN DE RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN Y DEMOLICIÓN		
CANTERA:	DON LUCHO I	TIPO DE CANTERA:	DE CERRO
UBICACIÓN:	KM.2.5 CARRETERA A LA COSTA	TIPO DE MATERIAL:	AFIRMADO
FECHA DE MUESTRA:	15/05/2018	RESPONSABLE:	ALEXEY ALVAREZ VASQUEZ
FECHA DE ENSAYO:	30/05/2018	REVISADO POR:	ING. FABIAN SANCHEZ PORTAL
MUESTREO			

GRANULOMETRÍA DE ENSAYO				
GRADACIÓN	"A"	"B"	"C"	"D"
CARGA ABRASIVA (N° de esferas de acero)	12	11	8	6

GRANULOMETRÍA DE LA MUESTRA DE AGREGADO PARA ENSAYO					
Tamiz (pasa)	Tamiz (retiene)	"A" (gr)	"B" (gr)	"C" (gr)	"D" (gr)
1 1/2"	1"	1250 ± 25			
1"	3/4"	1250 ± 25			
3/4"	1/2"	1250 ± 10	2500 ± 10		
1/2"	3/8"	1250 ± 10	2500 ± 10		
3/8"	1/4"			2500 ± 10	
1/4"	N° 4			2500 ± 10	
N° 4	N° 8				5000 ± 10
<b>TOTALES</b>		5000 ± 10	5000 ± 10	5000 ± 10	5000 ± 10

ID	DESCRIPCIÓN	UND	1	2	3
A	Peso muestra total	gr	5190	5200	5050
B	Peso retenido en tamiz N° 12	gr	2250	2190	2290
D	Desgaste a la abrasión Los Angeles $D = (A - B) * 100 / A$	%	56.65	57.88	54.65
<b>Promedio</b>		%	<b>56.40</b>		

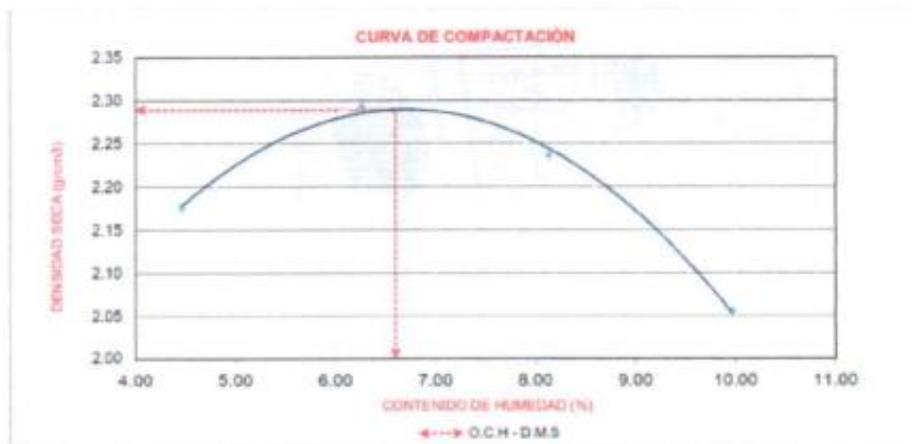
OBSERVACIONES:

RESPONSABLE DEL ENSAYO	COORDINADOR DE LABORATORIO	ASESOR
		
NOMBRE: ALEXEY ALVAREZ VASQUEZ	NOMBRE: ING. FABIAN SANCHEZ PORTAL	NOMBRE: ING. FABIAN SANCHEZ PORTAL
FECHA: 30 / 05 / 2018	FECHA: 30 / 05 / 2018	FECHA: 30 / 05 / 2018

  
V°B° TESIS  
Ing. Jane Alvarez Llanos

LABORATORIO DE SUELOS - UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE CAJAMARCA			
PROTOCOLO			
ENSAYO:	COMPACTACIÓN PROCTOR MODIFICADO (CON ADICIÓN DEL 4% DE RCD)		CODIGO DEL DOCUMENTO: CPM-LS-UPNC.
NORMA:	MTC E 115 / ASTM D1557 / NTP 339.141		
TESIS:	PROPIEDADES FÍSICO MECÁNICAS DE UN MATERIAL GRANULAR PARA AFIRMADO CON ADICIÓN DE RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN Y DEMOLICIÓN		
CANTERA:	DON LUCHO I	TIPO DE MATERIAL:	AFIRMADO
UBICACIÓN:	KM. 2.5 CARRETERA A LA COSTA	COLOR DE MATERIAL:	VARIOS
FECHA DE MUESTRA:	15/05/2018	RESPONSABLE:	ALEXEY ALVAREZ VASQUEZ
FECHA DE ENSAYO:	30/05/2018	REVISADO POR:	ING. FABIAN SANCHEZ PORTAL

ID	DESCRIPCIÓN	UND	1	2	3	4				
A	Peso Molde	gr	6599.00	6599.00	6599.00	6599.00				
B	Peso Muestra Humeda + Molde	gr	11425.00	11775.00	11735.00	11399.00				
C	Peso Muestra Humeda	gr	4826.00	5176.00	5136.00	4800.00				
D	Volumen Muestra Humeda	cm3	2124.00	2124.00	2124.00	2124.00				
F	Densidad humeda; D <sub>h</sub>	gr/cm3	2.272	2.437	2.418	2.260				
G	Recipiente	N°	T-1	T-2	T-3	T-4	T-5	T-6	T-7	T-8
H	Peso Recipiente	gr	27.30	27.70	29.90	30.00	29.90	29.70	27.70	27.40
I	Peso Muestra humeda + Recipiente	gr	99.90	116.30	116.30	116.30	129.90	126.70	111.80	140.00
K	Peso Muestra Seca + Recipiente	gr	95.70	113.90	111.60	112.70	122.90	118.90	104.40	129.50
L	Peso Muestra Seca	gr	68.40	86.20	81.70	82.70	93.00	89.20	76.70	102.10
M	Contenido de Humedad W%	%	6.14	2.78	5.75	6.77	7.53	8.74	9.65	10.28
N	Promedio Contenido de humedad Optimo	%	4.462		6.262		8.136		9.966	
O	Densidad Maxima Seca; D <sub>s</sub>	gr/cm3	2.175		2.293		2.236		2.055	



Dens. Max. = 2.289    Opt. Cont. Humedad = 6.60

OBSERVACIONES:

RESPONSABLE DEL ENSAYO	COORDINADOR DE LABORATORIO	ASESOR
	 ERICK FABIAN MILANO GARZON INGENIERO CIVIL	
NOMBRE: ALEXEY ALVAREZ VASQUEZ	NOMBRE: ERICK FABIAN MILANO GARZON	NOMBRE: ING. FABIAN SANCHEZ PORTAL
FECHA: 30 / 05 / 2018	FECHA: 30 / 05 / 2018	FECHA: 30 / 05 / 2018

  
V°B° TESIS  
Ing. Jane Alvarez Llanos



LABORATORIO DE SUELOS - UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE CAJAMARCA										
PROTOCOLO										
	ENSAYO:	CALIFORNIA BEARING RATIO - CBR (CON ADICIÓN DEL 4% DE RCD)						CODIGO DEL DOCUMENTO: CBR-LS-UPNC		
	NORMA:	MTC E 132 / ASTM D188								
	TESIS:	PROPIEDADES FÍSICO MECÁNICAS DE UN MATERIAL GRANULAR PARA AFIRMADO CON ADICIÓN DE RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN Y DEMOLICIÓN								
CANTERA:	DÓN LUCHO I		TIPO DE MATERIAL:			AFIRMADO				
UBICACIÓN:	K.M. 2.5 CARRETERA A LA COSTA		COLOR DE MATERIAL:			VARIOS				
FECHA DE MUESTRA:	15/05/2018		RESPONSABLE:			ALEXEY ALVAREZ VASQUEZ				
FECHA DE ENSAYO:	26/06/2018		REVISADO POR:			ING. FABIAN SANCHEZ PORTAL				
CARGA - PENETRACION										
PENETRACION		MOLDE N° 01			MOLDE N° 02			MOLDE N° 03		
mm	Pulg.	Carga Kg	Esfuerzo Kg/cm2 Lb/pl2		Carga Kg	Esfuerzo Kg/cm2 Lb/pl2		Carga Kg	Esfuerzo Kg/cm2 Lb/pl2	
0.00	0.000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.64	0.025	71.44	3.53	50.13	122.47	6.04	85.94	139.48	6.88	97.88
1.27	0.050	129.27	6.38	90.72	234.73	11.58	164.72	272.16	13.43	190.99
1.91	0.075	221.13	10.91	155.18	336.79	16.82	236.34	381.02	16.80	267.38
<b>2.54</b>	<b>0.100</b>	<b>326.59</b>	<b>16.11</b>	<b>229.19</b>	<b>469.47</b>	<b>23.16</b>	<b>329.45</b>	<b>510.29</b>	<b>25.18</b>	<b>358.10</b>
3.18	0.125	459.26	22.66	322.29	642.97	31.72	451.21	680.39	33.57	477.47
3.81	0.150	568.12	28.03	398.88	782.45	38.81	549.09	867.50	42.80	608.77
4.45	0.175	690.59	34.07	484.62	928.73	45.82	651.74	1027.39	50.69	720.97
<b>5.08</b>	<b>0.200</b>	<b>765.44</b>	<b>37.77</b>	<b>537.15</b>	<b>1054.60</b>	<b>52.83</b>	<b>740.07</b>	<b>1251.91</b>	<b>61.77</b>	<b>878.53</b>
6.35	0.250	986.56	48.68	692.32	1357.38	66.97	952.55	1483.25	73.18	1040.88
7.62	0.300	1190.88	58.75	835.56	1564.89	77.21	1098.17	1683.96	83.08	1181.72
8.89	0.350	1462.84	72.17	1026.55	1837.05	90.84	1289.16	1915.29	94.50	1344.06
10.16	0.400	1745.20	86.11	1224.70	2153.43	106.25	1511.18	2207.86	108.93	1549.37
11.43	0.450	2143.22	105.74	1504.01	2415.38	119.17	1695.00	2483.42	122.53	1742.75
12.70	0.500	2313.32	114.14	1623.38	2534.45	125.05	1778.56	2619.50	129.24	1838.24
ESFUERZO PARA 0.1" Y 0.2"										
MOLDE		MOLDE N° 01		MOLDE N° 02		MOLDE N° 03				
Penetracion		0.1"	0.2"	0.1"	0.2"	0.1"	0.2"	0.1"	0.2"	
Esfuerzo Terreno (Lb/pulg2)		229.2	537.15	329.45	740.07	358.10	878.53			
Esfuerzo Patron (Lb/pulg2)		1000	1500	1000	1500	1000	1500			
CBR (%)		22.92	35.81	32.95	49.34	35.81	58.57			
CBR Y DENSIDAD SECA										
MOLDE		MOLDE N° 1		MOLDE N° 2		MOLDE N° 3				
Penetracion		0.1"	0.2"	0.1"	0.2"	0.1"	0.2"			
CBR (%)		22.92	35.81	32.95	49.34	35.81	58.57			
Ds(gr/cm3)		2.21	2.21	2.26	2.26	2.32	2.32			
OBSERVACIONES:										
RESPONSABLE DEL ENSAYO			COORDINADOR DE LABORATORIO				ASESOR			
			 ERICK RAFAEL MUJICA GARZA INGENIERO CIVIL							
NOMBRE: ALEXEY ALVAREZ VASQUEZ			NOMBRE: ERICK RAFAEL MUJICA GARZA				NOMBRE: ING. FABIAN SANCHEZ PORTAL			
FECHA: 26 / 06 / 2018			FECHA: 26 / 06 / 2018				FECHA: 26 / 06 / 2018			



VºBº TESIS  
Ing. Jane Alvarez Llanos

LABORATORIO DE SUELOS - UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE CAJAMARCA			
PROTOCOLO			
ENSAYO:	CALIFORNIA BEARING RATIO - CBR (CON ADICIÓN DEL 4% DE RCD)	CODIGO DEL DOCUMENTO: CBR-LS-UPNC	
NORMA:	MTC E 132 / ASTM D188		
TESIS:	PROPIEDADES FÍSICO MECÁNICAS DE UN MATERIAL GRANULAR PARA AFIRMADO CON ADICIÓN DE RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN Y DEMOLICIÓN		
CANTERA:	DON LUCHO I	TIPO DE MATERIAL:	AFIRMADO
UBICACIÓN:	K.M. 2,5 CARRETERA A LA COSTA	COLOR DE MATERIAL:	VARIOS
FECHA DE MUESTRA:	15/05/2018	RESPONSABLE:	ALEXEY ALVAREZ VASQUEZ
FECHA DE ENSAYO:	26/06/2018	REVISADO POR:	ING. FABIAN SANCHEZ PORTAL

MAXIMA DENSIDAD SECA (gr/cm <sup>3</sup> )	2.289
95% MAXIMA DENSIDAD SECA (gr/cm <sup>3</sup> )	2.17
CBR 0.1" (%)	34.90
CBR 0.2" (%)	54.30

**CURVA DENSIDAD - CBR**

<b>CURVA ESFUERZO vs PENETRACION (13 GOLPES)</b>	<b>CURVA ESFUERZO vs PENETRACION (27 GOLPES)</b>	<b>CURVA ESFUERZO vs PENETRACION (56 GOLPES)</b>
CBR (%) 0.1" 22.92 CBR (%) 0.2" 35.81	CBR (%) 0.1" 32.95 CBR (%) 0.2" 49.34	CBR (%) 0.1" 35.81 CBR (%) 0.2" 58.57

OBSERVACIONES:

RESPONSABLE DEL ENSAYO	COORDINADOR DE LABORATORIO	ASESOR
	 ERICK RAFAEL MUÑOZ BARRIOS INGENIERO CIVIL	
NOMBRE: ALEXEY ALVAREZ VASQUEZ	NOMBRE: ERICK RAFAEL MUÑOZ BARRIOS	NOMBRE: ING. FABIAN SANCHEZ PORTAL
FECHA: 26 / 06 / 2018	FECHA: 26 / 06 / 2018	FECHA: 26 / 06 / 2018

V°B° TESIS  
Ing. Jane Alvarez Llanos

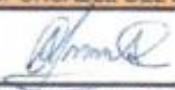
LABORATORIO DE SUELOS - UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE CAJAMARCA			
PROTOCOLO			
ENSAYO:	ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE AGREGADO GRUESO Y FINO (CON ADICIÓN DEL 6% DE RCD)	CODIGO DEL DOCUMENTO: AGGF-LC-UPNC:	
NORMA:	MTC E 204 / ASTM C136 / NTP 400.012		
TESIS:	PROPIEDADES FÍSICO MECANICAS DE UN MATERIAL GRANULAR PARA AFIRMADO CON ADICIÓN DE RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN Y DEMOLICIÓN		
CANTERA:	DON LUCHO I	RETENIDO N° 4(gr):	938.00
UBICACIÓN:	KM 2.5 CARRETERA A LA COSTA	PASA N° 4(gr):	2257.80
FECHA DE MUESTRA:	15/05/2018	RESPONSABLE:	ALEXEY ALVAREZ VASQUEZ
FECHA DE ENSAYO:	29/05/2018	REVISADO POR:	ING. FABIÁN SANCHEZ PORTAL

Peso de la muestra seca; Ws 5300.00 gr

N°	TAMIZ		PESO RETENIDO (gr)	% RETENIDO (%)	% RETENIDO ACUMULADO (%)	% QUE PASA	ESPECIFIC.	
	(pulg)	(mm)						
1	2"	50.00	0.00	0.00	0.00	100.00	100	100
2	1 1/2"	37.50	0.00	0.00	0.00	100.00	100	100
3	1"	25.00	288.00	5.43	5.43	94.57	90	100
4	3/4"	19.00	235.00	4.43	9.86	90.14	65	100
5	1/2"	12.50	1100.00	20.75	30.61	69.39		
6	3/8"	9.50	482.00	9.09	39.70	60.30	45	80
7	N° 4	4.75	938.00	17.70	57.40	42.60	30	65
8	N° 10	2.00	153.10	11.50	68.90	31.10	22	52
9	N° 20	0.85	96.50	7.25	76.15	23.85		
10	N° 30	0.60	59.20	4.45	80.60	19.40		
11	N° 40	0.43	51.20	3.84	84.44	15.56	15	35
12	N° 60	0.25	50.20	3.77	88.21	11.79		
13	N° 100	0.15	61.40	4.61	92.82	7.18		
14	N° 200	0.075	47.50	3.57	96.39	3.61	5	20
15	Fondo	0	48.20	3.62	100.00	0.00		
Total			567.30					



OBSERVACIONES:

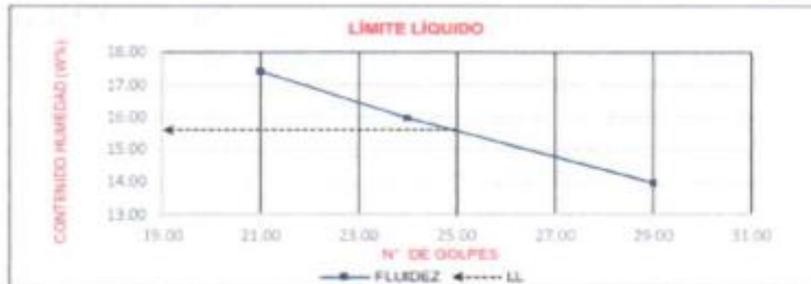
RESPONSABLE DEL ENSAYO	COORDINADOR DE LABORATORIO	ASESOR
		
NOMBRE: ALEXEY ALVAREZ VASQUEZ	NOMBRE: ERICK FABIÁN SANCHEZ PORTAL	NOMBRE: ING. FABIÁN SANCHEZ P.
FECHA: 29 / 05 / 2018	FECHA: 29 / 05 / 2018	FECHA: 29 / 05 / 2018

  
V°B° TESIS  
Ing. Jane Alvarez Llanos

LABORATORIO DE SUELOS - UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE CAJAMARCA			
PROTOCOLO			
ENSAYO:	LIMITES DE PLASTICIDAD (CON ADICIÓN DEL 6% DE RCD)	CODIGO DEL DOCUMENTO: LP-LC-UPNC	
NORMA:	MTC E 110 / ASTM D4318 / NTP 339.130 - NTP E111		
TESIS:	PROPIEDADES FÍSICO MECANICAS DE UN MATERIAL GRANULAR PARA AFIRMADO CON ADICIÓN DE RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN Y DEMOLICIÓN		
CANTERA:	DON LUCHO I	TIPO DE MATERIAL:	AFIRMADO
UBICACIÓN:	KM. 2.5 CARRETERA A LA COSTA	COLOR DE MATERIAL:	VARIOS
FECHA DE MUESTRA:	15/05/2018	RESPONSABLE:	ALEXEY ALVAREZ VASQUEZ
FECHA DE ENSAYO:	29/05/2018	REVISADO POR:	ING. FABIÁN SANCHEZ PORTAL

LÍMITE LÍQUIDO (LL)					
ID	DESCRIPCIÓN	UND	1	2	3
A	Identificación de Recipiente	N°			
B	Suelo Húmedo + Recipiente	gr	48.00	46.70	43.60
C	Suelo Seco + Recipiente	gr	45.30	44.40	41.60
D	Peso de Recipiente	gr	29.80	30.00	27.30
E	Peso del Agua	gr	2.70	2.30	2.00
F	Peso Suelo Seco	gr	15.50	14.40	14.30
G	Número de Golpes	N	21	24	29
H	Contenido de Humedad	%	17.42	15.97	13.99

LÍMITE PLÁSTICO (LP)					
ID	DESCRIPCIÓN	UND	1	2	3
A	Identificación de Recipiente	N°			
B	Suelo Húmedo + Tara	gr			
C	Suelo Seco + Tara	gr			
D	Peso de Tara	gr			
E	Peso del Agua	gr			
F	Peso Suelo Seco	gr			
G	Contenido de Humedad	%			
H	Promedio Límite Plástico	%			



LL = 15.60      LP = 0      IP =      NP

OBSERVACIONES:  
El material ensayado no presenta plasticidad

RESPONSABLE DEL ENSAYO	COORDINADOR DE LABORATORIO	ASESOR
		
NOMBRE: ALEXEY ALVAREZ VASQUEZ	NOMBRE: ERIC RAFAEL LUNA BARCOZA	NOMBRE: ING. FABIÁN SANCHEZ
FECHA: 29 / 05 / 2018	FECHA: 29 / 05 / 2018	FECHA: 29 / 05 / 2018

  
V°B° TESIS  
Ing. Jane Alvarez Llanos

LABORATORIO DE SUELOS - UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE CAJAMARCA			
PROTOCOLO			
ENSAYO:	ABRASIÓN LOS ANGELES AL DESGASTE DE LOS AGREGADOS TAMAÑOS MENORES DE (1 1/2") (CON ADICIÓN DEL 6% DE RCD)		CODIGO DEL DOCUMENTO: ALA-LC-UPNOC
NORMA:	MTC E 207 / ASTM C 131 / NTP 400.019		
TESIS:	PROPIEDADES FÍSICO MECANICAS DE UN MATERIAL GRANULAR PARA AFIRMADO CON ADICIÓN DE RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN Y DEMOLICIÓN		
CANTERA:	DON LUCHO I	TIPO DE CANTERA:	DE CERRO
UBICACIÓN:	KM 2.5 CARRETERA A LA COSTA	TIPO DE MATERIAL:	AFIRMADO
FECHA DE MUESTRA:	15/05/2018	RESPONSABLE:	ALEXEY ALVAREZ VASQUEZ
FECHA DE ENSAYO:	04/06/2018	REVISADO POR:	ING. FABIAN SANCHEZ PORTAL
MUESTREO			

GRANULOMETRÍA DE ENSAYO				
GRADACIÓN	"A"	"B"	"C"	"D"
CARGA ABRASIVA (N° de esferas de acero)	12	11	8	6

GRANULOMETRÍA DE LA MUESTRA DE AGREGADO PARA ENSAYO					
Tamiz (pasa)	Tamiz (retiene)	"A" (gr)	"B" (gr)	"C" (gr)	"D" (gr)
1 1/2"	1"	1250 ± 25			
1"	3/4"	1250 ± 25			
3/4"	1/2"	1250 ± 10	2500 ± 10		
1/2"	3/8"	1250 ± 10	2500 ± 10		
3/8"	1/4"			2500 ± 10	
1/4"	N° 4			2500 ± 10	
N° 4	N° 8				5000 ± 10
TOTALES		5000 ± 10	5000 ± 10	5000 ± 10	5000 ± 10

ID	DESCRIPCIÓN	UND	1	2	3
A	Peso muestra total	gr	5315	5251	5300
B	Peso retenido en tamiz N° 12	gr	2670	2595	2635
D	Desgaste a la abrasión Los Angeles $D = (A - B) * 100 / A$	%	49.76	50.56	50.28
Promedio		%	50.21		

OBSERVACIONES:

RESPONSABLE DEL ENSAYO	COORDINADOR DE LABORATORIO	ASESOR
	 BROCK RIVAS GONZALEZ INGENIERO CIVIL INSTITUTO COLEGIO DE INGENIEROS DEL PERU	
NOMBRE: ALEXEY ALVAREZ VASQUEZ	NOMBRE:	NOMBRE: ING. FABIAN SANCHEZ PORTAL
FECHA: 04 / 06 / 2018	FECHA: 04 / 06 / 2018	FECHA: 04 / 06 / 2018

  
VºBº TESIS  
Ing. Jane Alvarez Llanos

LABORATORIO DE SUELOS - UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE CAJAMARCA			
PROTOCOLO			
ENSAYO:	COMPACTACIÓN PROCTOR MODIFICADO (CON ADICIÓN DEL 6% DE RCD)		CODIGO DEL DOCUMENTO: CPM-LS-UPNC
NORMA:	MTC E 115 / ASTM D1557 / NTP 339.141		
TESIS:	PROPIEDADES FÍSICO MECANICAS DE UN MATERIAL GRANULAR PARA AFIRMADO CON ADICIÓN DE RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN Y DEMOLICIÓN		
CANTERA:	DON LUCHO I	TIPO DE MATERIAL:	AFIRMADO
UBICACIÓN:	KM. 2.5 CARRETERA A LA	COLOR DE MATERIAL:	VARIOS
FECHA DE MUESTRA:	15/05/2018	RESPONSABLE:	ALEXEY ALVAREZ VASQUEZ
FECHA DE ENSAYO:	04/06/2018	REVISADO POR:	ING. FABIAN SANCHEZ PORTAL

ID	DESCRIPCIÓN	UND	1	2	3	4				
A	Peso Molde	gr	6599.00	6599.00	6599.00	6599.00				
B	Peso Muestra Húmeda + Molde	gr	11410.00	11800.00	11880.00	11665.00				
C	Peso Muestra Húmeda	gr	4811.00	5201.00	5281.00	5066.00				
D	Volumen Muestra Húmeda	cm3	2124.00	2124.00	2124.00	2124.00				
F	Densidad húmeda; Dh	gr/cm3	2.265	2.449	2.486	2.385				
G	Recipiente	N°	T-1	T-2	T-3	T-4	T-5	T-6	T-7	T-8
H	Peso Recipiente	gr	27.20	27.00	27.40	26.80	29.70	30.20	27.40	27.30
I	Peso Muestra húmeda + Recipiente	gr	129.20	108.60	132.00	103.60	130.00	132.40	112.30	143.70
K	Peso Muestra Seca + Recipiente	gr	124.90	105.30	125.90	98.90	122.50	124.30	104.30	132.70
L	Peso Muestra Seca	gr	97.70	78.30	98.50	72.10	92.80	94.10	76.90	105.40
M	Contenido de Humedad W%	%	4.40	4.21	6.19	6.52	6.08	6.61	10.40	10.44
N	Promedio Contenido de humedad Óptimo	%	4.308		6.358		8.345		10.426	
O	Densidad Máxima Seca; Ds	gr/cm3	2.172	2.302	2.295	2.160				



Dens. Max. = 2.315      Opt. Cont. Humedad = 7.30

OBSERVACIONES:

RESPONSABLE DEL ENSAYO	COORDINADOR DE LABORATORIO	ASESOR
	 ERICK ACUÑA INGENIERO CIVIL	
NOMBRE: ALEXEY ALVAREZ VASQUEZ	NOMBRE:	NOMBRE: ING. FABIAN SANCHEZ PORTAL
FECHA: 04 / 06 / 2018	FECHA: 04 / 06 / 2018	FECHA: 04 / 06 / 2018

  
V°B° TESIS  
Ing. Jane Alvarez Llanos

LABORATORIO DE SUELOS - UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE CAJAMARCA										
PROTOCOLO										
ENSAYO:		CALIFORNIA BEARING RATIO - CBR (CON ADICIÓN DE 6% DE RCD)					CODIGO DEL DOCUMENTO:			
NORMA:		MTC E 132 / ASTM D188					CBR-LS-UPNC			
TESIS:		PROPIEDADES FÍSICO MECANICAS DE UN MATERIAL GRANULAR PARA AFIRMADO CON ADICIÓN DE RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN Y DEMOLICIÓN								
CANTERA:		DON LUCHO I		TIPO DE MATERIAL:			AFIRMADO			
UBICACIÓN:		K.M. 2.6 CARRETERA A LA COSTA		COLOR DE MATERIAL:			VARIOS			
FECHA DE MUESTRA:		15/05/2018		RESPONSABLE:			ALEXEY ALVAREZ VASQUEZ			
FECHA DE ENSAYO:		26/06/2018		REVISADO POR:			ING. FABIAN SANCHEZ PORTAL			
COMPACTACIÓN - CBR										
DESCRIPCIÓN	UND	1		2		3				
N° Capas		5		5		5				
N° Golpes por Capa		13		27		56				
Condición de Muestra		Antes	Despues	Antes	Despues	Antes	Despues	Antes	Despues	
Peso Molde	gr	7250.00	7250.00	7211.00	7211.00	7264.00	7264.00	7264.00	7264.00	
Peso Muestra húmeda + Molde	gr	12270.00	12355.00	12358.00	12445.00	12497.00	12540.00	12540.00	12540.00	
Peso Muestra húmeda	gr	5020.00	5105.00	5147.00	5234.00	5233.00	5276.00	5276.00	5276.00	
Volumen Muestra húmeda	cm3	2081.35	2081.35	2083.18	2083.18	2081.35	2081.35	2081.35	2081.35	
Densidad húmeda; Dh	gr/cm3	2.412	2.453	2.471	2.513	2.514	2.535	2.535	2.535	
CONTENIDO DE HUMEDAD										
Ensayo	N°	1-A	1-B	1-C	2-A	2B	2C	3-A	3-B	3-C
Peso Recipiente	gr	29.70	29.50	25.90	27.50	29.80	29.50	30.10	26.90	27.20
Peso Muestra húmeda + Recipiente	gr	73.20	76.10	120.10	85.00	70.10	102.50	78.30	61.90	101.40
Peso Muestra Seca + Recipiente	gr	70.20	74.70	113.30	81.00	67.30	97.10	74.90	59.40	96.00
Peso del Agua	gr	3.00	3.40	6.80	4.00	2.80	5.40	3.40	2.50	5.40
Peso Muestra Seca	gr	40.50	45.20	87.40	53.50	37.50	67.60	44.80	32.50	68.80
Contenido de Humedad; W%	%	7.41	7.52	7.78	7.48	7.47	7.99	7.59	7.69	7.85
Promedio Contenido de Humedad	%	7.465		7.760	7.472		7.988	7.641		7.649
Densidad Máxima Seca; Ds	gr/cm3	2.244	2.276	2.299	2.327	2.336	2.350	2.350	2.350	2.350
ENSAYO DE INCHAMIENTO										
TIEMPO ACUMULADO		MOLDE N° 01			MOLDE N° 02			MOLDE N° 03		
		Lectura	Hinchamiento		Lectura	Hinchamiento		Lectura	Hinchamiento	
Horas	Días	Deforma.	mm	%	Deforma.	mm	%	Deforma.	mm	%
			0.000	0.000		0.000	0.000		0.000	0.000
			0.000	0.000		0.000	0.000		0.000	0.000
			0.000	0.000		0.000	0.000		0.000	0.000
			0.000	0.000		0.000	0.000		0.000	0.000
OBSERVACIONES:										
La muestra ensayada no presenta hinchamiento										
RESPONSABLE DEL ENSAYO			COORDINADOR DE LABORATORIO				ASÉSOR			
										
NOMBRE: ALEXEY ALVAREZ VASQUEZ			NOMBRE: ERICK PANTOJA				NOMBRE: ING. FABIAN SANCHEZ PORTAL			
FECHA: 26 / 06 / 2018			FECHA: 26 / 06 / 2018				FECHA: 26 / 06 / 2018			



V°B° TESIS  
Ing. Jane Alvarez Llanos

LABORATORIO DE SUELOS - UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE CAJAMARCA			
PROTOCOLO			
ENSAYO:	CALIFORNIA BEARING RATIO - CBR (CON ADICIÓN DE 8% DE RCD)	CODIGO DEL DOCUMENTO: CBR-LS-UPNC	
NORMA:	MTC E 132 / ASTM D188		
TESIS:	PROPIEDADES FÍSICO MECANICAS DE UN MATERIAL GRANULAR PARA AFIRMADO CON ADICIÓN DE RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN Y DEMOLICIÓN		
CANTERA:	DON LUCHO I	TIPO DE MATERIAL:	AFIRMADO
UBICACIÓN:	K.M. 2.5 CARRETERA A LA COSTA	COLOR DE MATERIAL:	VARIOS
FECHA DE MUESTRA:	15/05/2018	RESPONSABLE:	ALEXEY ALVAREZ VASQUEZ
FECHA DE ENSAYO:	26/06/2018	REVISADO POR:	ING. FABIAN SANCHEZ PORTAL

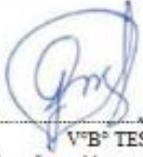
CARGA - PENETRACION										
PENETRACION		MOLDE N° 01			MOLDE N° 02			MOLDE N° 03		
		Carga	Esfuerzo		Carga	Esfuerzo		Carga	Esfuerzo	
mm	Pulg.	Kg	Kg/cm <sup>2</sup>	Lb/pl <sup>2</sup>	Kg	Kg/cm <sup>2</sup>	Lb/pl <sup>2</sup>	Kg	Kg/cm <sup>2</sup>	Lb/pl <sup>2</sup>
0.00	0.000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.64	0.025	112.26	3.54	78.78	136.08	6.71	95.50	176.90	8.73	124.14
1.27	0.050	200.71	9.90	140.85	244.94	12.09	171.89	323.18	15.95	226.79
1.91	0.075	302.77	14.94	212.47	374.21	18.46	262.80	493.28	24.34	346.18
2.54	0.100	374.21	18.46	262.60	517.10	25.51	362.88	646.37	31.89	453.59
3.18	0.125	493.28	24.34	346.16	687.19	33.91	482.24	789.25	38.94	553.86
3.81	0.150	666.78	32.90	467.92	850.49	41.96	596.83	983.16	48.51	689.94
4.45	0.175	782.45	38.61	549.09	1027.39	50.69	720.97	1139.85	56.23	799.75
5.08	0.200	928.73	45.82	651.74	1149.86	56.73	806.92	1343.77	66.30	943.90
6.35	0.250	1105.63	54.55	775.88	1432.22	70.66	1005.07	1571.70	77.55	1102.95
7.62	0.300	1285.93	63.45	902.41	1697.57	83.76	1191.28	1809.83	89.29	1270.05
8.89	0.350	1469.64	72.51	1031.33	1877.87	92.85	1317.80	1990.14	98.19	1396.59
10.16	0.400	1694.17	83.59	1188.89	2078.59	102.55	1458.66	2194.25	108.26	1539.82
11.43	0.450	1905.09	93.99	1336.90	2306.52	113.80	1618.61	2337.13	115.31	1640.09
12.70	0.500	2092.19	103.23	1468.20	2384.76	117.86	1673.51	2422.18	119.51	1699.77

ESFUERZO PARA 0.1" Y 0.2"						
MOLDE	MOLDE N° 01		MOLDE N° 02		MOLDE N° 03	
	0.1"	0.2"	0.1"	0.2"	0.1"	0.2"
Penetracion	0.1"	0.2"	0.1"	0.2"	0.1"	0.2"
Esfuerzo Terreno (Lb/pulg <sup>2</sup> )	262.6	651.74	362.88	806.92	453.59	943.00
Esfuerzo Patron (Lb/pulg <sup>2</sup> )	1000	1500	1000	1500	1000	1500
CBR (%)	26.26	43.45	36.29	53.79	45.36	62.87

CBR Y DENSIDAD SECA						
MOLDE	MOLDE N° 1		MOLDE N° 2		MOLDE N° 3	
	0.1"	0.2"	0.1"	0.2"	0.1"	0.2"
Penetracion	0.1"	0.2"	0.1"	0.2"	0.1"	0.2"
CBR (%)	26.26	43.45	36.29	53.79	45.36	62.87
Os(gr/cm <sup>3</sup> )	2.24	2.24	2.30	2.30	2.34	2.34

OBSERVACIONES:

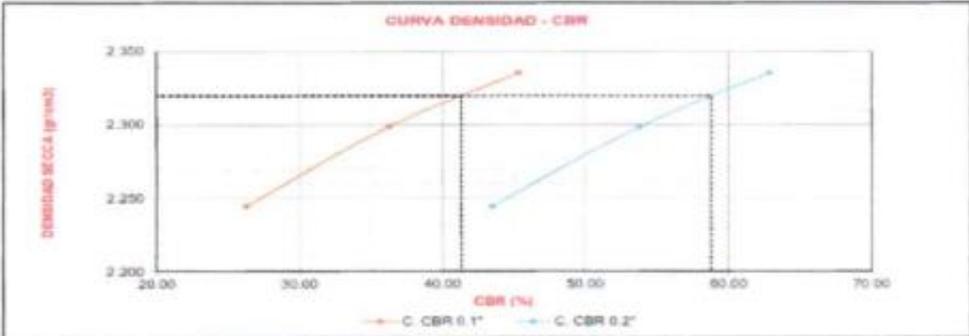
RESPONSABLE DEL ENSAYO	COORDINADOR DE LABORATORIO	ASESOR
	 ERICK RAFAEL MUÑOZ BARRIOSCA INGENIERO CIVIL	
NOMBRE: ALEXEY ALVAREZ VASQUEZ	NOMBRE:	NOMBRE: ING. FABIAN SANCHEZ PORTAL
FECHA: 26 / 06 / 2018	FECHA: 26 / 06 / 2018	FECHA: 26 / 06 / 2018

  
V°B° TESIS  
Ing. Jane Alvarez Llanos

LABORATORIO DE SUELOS - UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE CAJAMARCA			
PROTOCOLO			
ENSAYO:	CALIFORNIA BEARING RATIO - CBR (CON ADICIÓN DE 6% DE RCD)	CODIGO DEL DOCUMENTO: CBR-LS-UPNC	
NORMA:	MTC E 132 / ASTM D188		
TESIS:	PROPIEDADES FÍSICO MECANICAS DE UN MATERIAL GRANULAR PARA AFIRMADO CON ADICIÓN DE RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN Y DEMOLICIÓN		
CANTERA:	DON LUCHO I	TIPO DE MATERIAL:	AFIRMADO
UBICACIÓN:	K.M. 2.5 CARRETERA A LA COSTA	COLOR DE MATERIAL:	VARIOS
FECHA DE MUESTRA:	15/05/2018	RESPONSABLE:	ALEXEY ALVAREZ VASQUEZ
FECHA DE ENSAYO:	26/06/2018	REVISADO POR:	ING. FABIAN SANCHEZ PORTAL

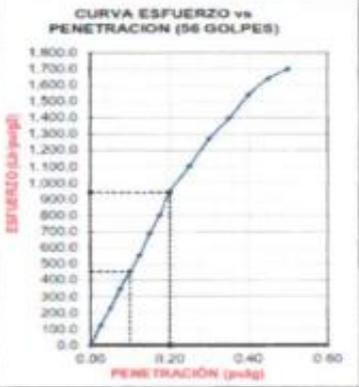
  

MAXIMA DENSIDAD SECA (gr/cm <sup>3</sup> )	2.315
95% MAXIMA DENSIDAD SECA (gr/cm <sup>3</sup> )	2.20
CBR 0.1" (%)	41.30
CBR 0.2" (%)	56.80

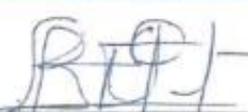
CURVA DENSIDAD - CBR

<p>CURVA ESFUERZO vs PENETRACION (13 GOLPES)</p>  <p>CBR (%) 0.1" 26.26 CBR (%) 0.2" 43.45</p>	<p>CURVA ESFUERZO vs PENETRACION (27 GOLPES)</p>  <p>CBR (%) 0.1" 36.29 CBR (%) 0.2" 53.79</p>	<p>CURVA ESFUERZO vs PENETRACION (56 GOLPES)</p>  <p>CBR (%) 0.1" 45.36 CBR (%) 0.2" 62.67</p>
---	--	---

OBSERVACIONES:

RESPONSABLE DEL ENSAYO	COORDINADOR DE LABORATORIO	ASESOR
	 ERICK RAFAEL MUNOZ BALCACER INGENIERO CIVIL	
NOMBRE: ALEXEY ALVAREZ VASQUEZ	NOMBRE:	NOMBRE: ING. FABIAN SANCHEZ PORTAL
FECHA: 26 / 06 / 2018	FECHA: 26 / 06 / 2018	FECHA: 26 / 06 / 2018

  
 V<sup>o</sup>B<sup>o</sup> TESIS  
 Ing. Jane Alvarez Llanos