



**FACULTAD DE INGENIERÍA, ARQUITECTURA Y
URBANISMO**

**ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE
INGENIERÍA CIVIL**

TESIS

**“CORRELACIÓN ENTRE EL NÚMERO DE CICLOS
DE COMPACTACIÓN Y LA DENSIDAD DE CAMPO PARA
BASES GRANULARES DE CARRETERAS EN LA REGIÓN
LAMBAYEQUE”**

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

Autores:

Bach. Livaque Monteza, Wilmer

Bach. Villarez Altamirano, Sandra Yessenia

Asesor:

Mg. Serrepe Ranno, Mirian Marcela

Línea de Investigación:

**Ingeniería de Procesos – Ingeniería Vial y de
Transportes**

**Pimentel – Perú
2018**

**CORRELACIÓN ENTRE EL NÚMERO DE CICLOS DE
COMPACTACIÓN Y LA DENSIDAD DE CAMPO PARA BASES GRANULARES
DE CARRETERAS EN LA REGIÓN LAMBAYEQUE**

Aprobado por:

Dr. Ing. Coronado Zuloeta, Omar

Presidente del Jurado de Tesis

Ing. Mg. Muñoz Pérez Sócrates Pedro

Secretario del Jurado de Tesis

Ing. Nepton Ruiz Saavedra

Vocal de Jurado de Tesis

DEDICATORIA

A Dios por dejarme seguir este camino y darme las habilidades óptimas y justas para cumplir con mi objetivo de mejorar la calidad de vida de mis semejantes. También está dedicada a mi madre por darme la oportunidad de seguir mis estudios de pregrado, dándome el ejemplo del amor al trabajo con responsabilidad y empeño. A mis familiares y amigos por brindarme su confianza y consejos e ideas para forjar la persona que soy hoy en día.

Wilmer

Al creador de todas las cosas por haberme permitido llegar hasta este punto y me ha dado fortaleza para continuar cuando he sentido caerme, con toda humildad que emana mi corazón dedico en primer lugar a Dios. A mis padres por ser el pilar fundamental en todo lo que soy, por darme la vida, por inculcarme valores, quererme mucho y especialmente por creer en mí apoyándome siempre incondicionalmente. A mi familia y amigos por estar conmigo apoyándome y aconsejándome para que cada día sea mejor como persona y profesional.

Sandra Yessenia

AGRADECIMIENTO

En el presente informe de investigación queremos agradecer a Dios por bendecirnos para llegar hasta donde hemos llegado, por permitirnos hacer realidad este sueño anhelado.

A la UNIVERSIDAD SEÑOR DE SIPÁN por darnos la oportunidad de estudiar y ser unos profesionales.

También agradecemos a los ingenieros de la USS, por sus visiones críticas de acuerdo a sus amplias experiencias, por ser rectos en su profesión como docentes, por sus consejos que nos ayudaron a formarnos como personas e investigadores.

De igual manera a nuestra asesora metodológica, por su esfuerzo y dedicación, quien con sus conocimientos y su experiencia ha logrado en nosotros que podamos culminar nuestros estudios con éxito.

Los Autores

ÍNDICE

PÁGINA DE JURADOS	iii
DEDICATORIA	iii
AGRADECIMIENTO	iv
ÍNDICE.....	v
ÍNDICE DE TABLAS	vii
ÍNDICE DE FIGURAS	ix
ÍNDICE DE ECUACIONES.....	xiv
ÍNDICE DE ANEXOS.....	xv
RESUMEN	xvi
I. INTRODUCCIÓN.....	19
1.1. Situación Problemática	20
1.2. Formulación del Problema.....	33
1.3. Hipótesis	33
1.4. Objetivos.....	33
1.5. Justificación	33
1.6. Antecedentes.....	35
1.7. Marco Teórico.....	38
II. MATERIAL Y MÉTODOS	57
2.1. Tipo y Diseño de la Investigación	57
2.2. Métodos de Investigación	57
2.3. Población y Muestra	58
2.4. Variables y Operacionalización	58

2.5. Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos	61
2.6. Validación y Confiabilidad de Instrumentos	62
III. RESULTADOS	64
3.1. Extracción del Afirmado en Canteras Representativas de la Región Lambayeque.....	64
3.2. Estudio de Mecánica de Suelos	67
3.3. Densidad de Campo con el Método del Cono de Arena.....	84
3.4. Correlación entre el número de ciclos y la densidad de campo.....	88
IV. DISCUSIÓN.....	94
V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	96
5.1. Conclusiones	96
5.2. Recomendaciones	97
VI. REFERENCIAS	98
VII. ANEXOS.....	100

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Coordenadas de la Zona 1.....	28
Tabla 2 Coordenadas de la Zona 2.....	31
Tabla 3 Rangos establecidos para el tamizado del material.	39
Tabla 4 Diámetro de las aberturas de los tamices.	48
Tabla 5 Presupuesto de la investigación.	52
Tabla 6 Variable independiente.	59
Tabla 7 Variable dependiente.	60
Tabla 8 Granulometría de la cantera Tres Tomas - Zona 1.....	68
Tabla 9 Granulometría de la cantera Tres Tomas – Zona 2.	70
Tabla 10 Granulometría de la cantera La Victoria-Zona 2.	72
Tabla 11 Límites de la cantera Tres Tomas – Zona 1.	74
Tabla 12 Consistencia física de la muestra de la cantera Tres Tomas – Zona1....	74
Tabla 13 Límites de la cantera Tres Tomas – Zona 2.	76
Tabla 14 Consistencia física de la muestra de la cantera Tres Tomas – Zona 2... ..	76
Tabla 15 Límites de la cantera La Victoria – Zona 2.	78
Tabla 16 Consistencia física de la muestra de la cantera La Victoria – Zona 2....	78
Tabla 17 Proctor de la cantera Tres Tomas-Zona 1.	81
Tabla 18 Proctor de la cantera Tres Tomas-Zona 2.	82
Tabla 19 Proctor de la cantera La Victoria-Zona 2.....	83

Tabla 20 Densidad de campo Tres Tomas-Zona1 ($e=15cm$).	85
Tabla 21 Densidad de campo Tres Tomas-Zona2 ($e=20cm$).	85
Tabla 22 Densidad de campo Tres Tomas-Zona2 ($e=25cm$).	86
Tabla 23 Densidad de campo La Victoria-Zona2 ($e=15cm$).	86
Tabla 24 Densidad de campo La Victoria-Zona2 ($e=20cm$).	87
Tabla 25 Densidad de campo La Victoria-Zona2 ($e=25cm$).	87
Tabla 26 Variables polinómicas de grado 2 – Tres Tomas.	89
Tabla 27 Variables polinómica de grado 2 – La Victoria.	91

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Pavimento en México.	22
Figura 2. Mal estado de vías de transporte en el Perú.	24
Figura 3. Pavimento deteriorado entre las avenidas México y Sáenz Peña.	25
<i>Figura 4. Pavimento deteriorado entre las avenidas México y Sáenz Peña.....</i>	26
<i>Figura 5. Ubicación del proyecto de tesis.....</i>	27
<i>Figura 6. Plano de ubicación.</i>	29
<i>Figura 7. Ubicación del proyecto de la zona 1.</i>	30
<i>Figura 8. Vista panorámica de la zona 1.....</i>	30
Figura 9. Ubicación del proyecto de la zona 2.....	32
Figura 10. Vista panorámica de la zona 2.	32
Figura 11. Horno y taras para el secado de las muestras.....	45
<i>Figura 12. Coordenadas del punto 01 – Zona 1.....</i>	65
<i>Figura 13. Coordenadas del punto 02 – Zona 2.....</i>	65
Figura 14. Coordenadas UTM – La Victoria.	66
Figura 15. Curva Granulométrica de la cantera Tres Tomas – Zona 1.	69
Figura 16. Curva Granulométrica de la cantera Tres Tomas – Zona 2.	71
Figura 17. Curva Granulométrica de la cantera La Victoria – Zona 2.	73
Figura 18. Gráfica del límite líquido de la cantera Tres Tomas – Zona1.....	75
Figura 19. Gráfica del límite líquido de la cantera Tres Tomas – Zona 2.....	77

Figura 20. Gráfica del límite líquido de la cantera La Victoria-Zona2.	79
Figura 21. Curva de compactación del Proctor de la Cantera Tres Tomas-Zona1.	81
Figura 22. Curva de compactación del Proctor de la Cantera Tres Tomas-Zona2.	82
Figura 23. Curva de compactación del Proctor de la Cantera La Victoria- Zona2.	83
Figura 24. Correlación de la cantera Tres Tomas.	90
Figura 25. Correlación de la cantera La Victoria.	92
Figura 26. Anotación de coordenadas con el GPS.	100
Figura 27. Extracción del material para laboratorio de las canteras.	100
Figura 28. Acarreo del material en la cantera Tres Tomas.	101
Figura 29. Preparación del material en cantera Tres Tomas.	101
Figura 30. Recepción del material en la Zona 2.	102
Figura 31. Material descargado en la Zona 2.	102
Figura 32. Afirmado de la cantera Tres Tomas.	103
Figura 33. Afirmado de la cantera La Victoria.	104
Figura 34. Cuarteo de la muestra de la cantidad de 20 kg.	104
Figura 35. Clasificación del afirmado con la malla N°4.	105
Figura 36. Grava lavada retenida en la malla N°4.	105
Figura 37. Juego de tamices de 2” hasta N°4.	106
Figura 38. Cuarteo del material fino que pasó la malla N°4.	106

Figura 39. Lavado del material retenido en la malla N°4.	107
Figura 40. Mallas desde la N°8 hasta la N° 200.	108
Figura 41. Registro de los pesos del material tamizado por las mallas N°8 hasta la N°200.	108
Figura 42. Instrumentos para ensayo Proctor.	109
Figura 43. Preparación y tamizado de muestra afirmado de Tres Tomas.	110
Figura 44. Material retenido en las mallas ¾”, 3/8” y N°4.	110
Figura 45. Dosificación de Tandas de 5500 g.	111
Figura 46. Peso de tanda de 5500 g.	112
Figura 47. Humectación de Tanda a 4% de humedad (220 ml).	112
Figura 48. Batido de la tanda humectada.	113
Figura 49. Molde de 6” lista a recepcionar primera capa de muestra.	114
Figura 50. Primera capa vertida en molde de 6” lista para compactar.	114
Figura 51. Compactación de primera capa con pisón de 10 lb.	115
Figura 52. Compactación de segunda capa con pisón de 10 lb.	115
Figura 53. Primera capa compactada con 56 golpes con pisón de 10 lb.	116
Figura 54. Tanda compactada en 5 capas.	116
Figura 55. Desmolde y nivelación de la muestra compactada.	117
Figura 56. Peso del molde sin base más la muestra compactada.	117
Figura 57. Material que pasa la malla N° 40.	119
Figura 58. Saturación de la muestra.	119

Figura 59. Calibración de la copa Casagrande y saturación de la muestra. ...	120
<i>Figura 60. Muestra surcada por el acanalador.</i>	121
<i>Figura 61. Peso de muestra húmeda.</i>	122
<i>Figura 62. Muestras secas al horno por 24 horas.</i>	122
<i>Figura 63. Muestra enrolada.</i>	124
<i>Figura 64. Topógrafo encargado de la nivelación y la colocación de plantillas.</i>	127
<i>Figura 65. Colocación de plantillas.</i>	128
<i>Figura 66. Rodillo vibro compactador liso INGERSOLL - RAND SD - 100D.</i>	128
<i>Figura 67. Toma de medida del contenido de humedad en campo del 0% al 20%.</i>	129
<i>Figura 68. Marca de capacidad de cilindro.</i>	130
<i>Figura 69. Cilindros de capacidad de 50 galones y motobomba de 2”.</i>	130
<i>Figura 70. Aplicación de 375 galones de agua mediante una motobomba de 2” en una moto carguera.</i>	131
<i>Figura 71. Motoniveladora Cat de 159 KW ejecutando el batido del material para base.</i>	131
<i>Figura 72. Rodillo liso vibratorio generando energía cada 2 ciclos.</i>	132
Figura 73. Limpieza y desbroce de la Zona 2.	133
Figura 74. Replanteo de los terraplenes de la Zona 2.	134
<i>Figura 75. Motoniveladora en la Zona 2.</i>	134

<i>Figura 76. Midiendo el agua en cilindros.....</i>	135
<i>Figura 77. Hidratación de los terraplenes.....</i>	135
<i>Figura 78. Speedy calculando el contenido de humedad.....</i>	136
<i>Figura 79. Compactación de los terraplenes.....</i>	137
<i>Figura 80. Calibración del cono sin arena – Zona 1.</i>	138
<i>Figura 81. Excavación de agujero de 15 cm de profundidad – Zona1.....</i>	139
<i>Figura 82. Medida de profundidad del agujero – Zona 1.</i>	139
<i>Figura 83. Cono de arena en el agujero excavado – Zona 2.....</i>	140
<i>Figura 84. Arena que queda en el balón – Zona 1.....</i>	140
<i>Figura 85. Peso de la arena que queda en el balón – Zona 1.....</i>	141
<i>Figura 86. Material retenido en la malla N° ¾” – Zona 1.....</i>	141
<i>Figura 87. Prueba de densidad de campo – Zona 2.</i>	142
<i>Figura 88. Control de humedad con el humedómetro o Speedy.....</i>	142
<i>Figura 89. Demarcación de la calicata de 1.5m x 2m.....</i>	144
<i>Figura 90. Excavación de 1.50m de profundidad.....</i>	144
<i>Figura 91. Midiendo la profundidad de la calicata.....</i>	145
<i>Figura 92. Demarcación de los estratos.....</i>	145
<i>Figura 93. Extracción de los estratos.....</i>	146
<i>Figura 94. Extracción de muestras inalteradas.....</i>	146

ÍNDICE DE ECUACIONES

<i>Ecuación 1.</i> Rendimiento del equipo de compactación.	40
<i>Ecuación 2.</i> Grado de compactación.	40
<i>Ecuación 3.</i> Energía específica.	42
<i>Ecuación 4.</i> Contenido de humedad.	45
Ecuación 5. Línea de tendencia para la cantera Tres Tomas.	88
Ecuación 6. Línea de tendencia para la cantera La Victoria.....	88

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1 Panel fotográfico de la ejecución de la investigación

Anexo 2 Procedimiento de ensayos en laboratorio

Anexo 3 Especificaciones técnicas del rodillo liso vibratorio INGERSOLL RAND SD100

Anexo 4 Proceso de Compactación - Cantera Tres Tomas

Anexo 5 Proceso de Compactación - Canteras La Victoria y Tres Tomas

Anexo 6 Densidad de Campo – Método del cono de arena

Anexo 7 Calicata del terreno de fundación

Anexo 8 Repositorio

Anexo 9 Formatos de ensayos de Mecánica de Suelos, análisis de costo unitario por m³ compactado de afirmado y costo unitario por ciclo de compactación (ida y vuelta)

RESUMEN

En la región Lambayeque carece una correlación acerca del número de ciclos necesarios que debe realizar el equipo compactador para bases de afirmado (15, 20 y 25 cm) extraídos de la cantera Tres Tomas y La Victoria, para llegar a una densidad óptima, permitiendo controlar en campo el proceso de compactación minimizando tiempo y costos, por tal motivo que se realiza la presente investigación para obtener una “CORRELACIÓN ENTRE EL NÚMERO DE CICLOS DE COMPACTACIÓN Y LA DENSIDAD DE CAMPO PARA BASES GRANULARES DE CARRETERAS EN LA REGIÓN LAMBAYEQUE”, respetando las normas nacionales e internacionales para lograr resultados confiables realizando los ensayos de densidad de campo empleando el método del Cono de Arena (ASTM D -1556 – MTC E 117).

El material de afirmado extraído, se elaboró el estudio de mecánica de suelos para verificar su nivel de calidad para cumplir con los estándares que demanda el manual de especificaciones técnicas de construcción de carreteras del ministerio de transportes y comunicaciones del Perú (EG – 2013 del MTC), para ser aplicado en la construcción de bases de afirmado. La aplicación se ejecutó en varios tramos y para un espesor específico, cada tramo de 20 y 30 metros, utilizando un compactador de rodillo liso vibratorio de 10 toneladas.

Obteniendo como resultados a un espesor de 15 – 25 cm de espesor de base, los siguientes resultados: Cantera Tres Tomas (15-25 cm) con 09 ciclos y cantera La Victoria (15-25 cm) con 10 ciclos.

Palabras Clave: correlación, ciclo, compactación, densidad y carretera.

ABSTRACT

In the Lambayeque region, there is no correlation in the number of cycles required by the compactor equipment for foundation bases (15, 20 and 25 cm) extracted from the quarry Tres Tomas and La Victoria, to reach an optimum density, allowing control in the field the compaction process minimizing time and costs, for this reason that the present investigation is carried out to obtain a "CORRELATION BETWEEN THE NUMBER OF COMPACTION CYCLES AND THE FIELD DENSITY FOR GRANULAR BASES OF ROADS IN THE REGION LAMBAYEQUE", respecting the national and international standards to achieve reliable results by performing field density tests using the Sand Cone method (ASTM D -1556 - MTC E 117).

In the extracted material, the study of soil mechanics was developed to verify its level of quality in order to meet the standards demanded in the manual of technical specifications of road construction of the transport and communications ministry of Peru (EG - 2013 of the MTC), to be applied in the construction of affirmed bases. The application was executed in several sections and for a specific thickness, each section of 20 and 30 meters, using a vibratory smooth roller compactor of 10 tons.

Obtaining as results a thickness of 15 - 25 cm of base thickness, the following results: Quarry Tres Tomas (15–25 cm) with 09 cycles y quarry La Victoria (15–25 cm) with 10 cycles.

Keywords: Correlation, Cycle, Compaction, Density and Road.

I. INTRODUCCIÓN

I. INTRODUCCIÓN

Las vías de comunicación como medio de socialización del hombre, son indispensables para la unificación y desarrollo de los pueblos. Desde la existencia del hombre, este ha tenido la necesidad de construir un camino para unir un punto de partida y de llegada. Ideando tipos de caminos en las cuales están las carreteras que en un inicio eran construidas como accesos de herradura.

Las carreteras son accesos de comunicación terrestre pavimentados o no pavimentados, que en parte de sus estructuras se encuentran las sub bases y bases que están conformados de material afirmado. Estos son compactados y controlados mediante la comparación de sus pesos volumétricos secos que pueden alcanzar en laboratorio y en campo.

Las sub bases y bases son compactados en campo hasta obtener optimo grado de compactación con el equipo adecuado y un número de ciclos de compactación inicial, que luego son controlados mediante una prueba de densidad en campo. Esta prueba afirma si los ciclos de compactación fueron los suficientes o se necesita aplicar un número de ciclos de compactación adicional para alcanzar el peso volumétrico correspondiente del material.

La construcción de carreteras se encuentra en constante innovación con el uso de nuevas tecnologías y la utilización de equipos versátiles y eficaces que facilitan una vía de acceso terrestre construida en menor, de buena calidad y de menor inversión. Por tal motivo que se realiza esta investigación.

1.1. Situación Problemática

1.1.1. A nivel internacional.

Las vías de comunicación terrestre son esenciales para el desarrollo de un país, motivo por el cual su construcción demanda grandes inversiones. Sus construcciones son impecablemente planificadas en cuanto al tiempo y al costo. Así, en Colombia, un estudio de estado vial de Bello Horizonte nos describe que se produjo varias fallas en sus pavimentos flexibles y rígidos. Las posibles causas y factores que afectan el desarrollo de un pavimento son la insuficiente compactación de una sección de la vía y materiales de la subrasante estabilizada con cemento debido a grietas en el proceso de secado, subrasantes estabilizadas con cal (Teresa y López, 2016). En la ejecución de obras viales, la sub base y base debe avalar un comportamiento estructural apropiado, para avalar este comportamiento se invoca un mejoramiento de ésta mediante el proceso de la compactación. El proceso se realiza cuidadosamente en base a los resultados del material a compactar en campo, que son estudiados previamente en un laboratorio. Los resultados de laboratorio como la plasticidad del material nos indica la máxima capacidad de agua y la energía suficiente que el material debe poseer, para que el material presente un comportamiento elástico. Ésta energía de compactación hoy en día no se aplica exactamente a seguridad con un número de ciclos suficientes para lograr el óptimo grado de compactación al 100%, para cumplir con los estándares de calidad consiste en dar el número de ciclos (pasadas) del equipo compactador e ir verificando con dispositivos de medición de la densidad de campo hasta llegar al óptimo grado de compactación.

Para contar con vías en buen estado y de calidad, se requiere de grandes inversiones. Así, la Asociación Española de la Carretera alerta sobre el mal estado de una gran cantidad de vías y avisa del progresivo deterioro en los próximos años. Ha indicado que se necesita una inversión de 65000 euros por kilómetro para que de esta manera la red de carreteras se halle en buen estado debido a la falta de inversión acumulada durante los últimos años y, especialmente, en tiempos de crisis. Con esto se ha aglomerado un déficit de inversión en carreteras que según el estudio se desata un sin número de necesidades de inversión y conservación. Las carreteras en mal estado tienen como consecuencia un número

creciente de restos en forma de piedras que suponen una mayor posibilidad de chinazo en las lunas de los vehículos que circulan por esas carreteras en mal estado (infoluna.com, 2016). Esto se debe a que ya terminó su vida útil de dichas estructuras, entonces se empiezan a deteriorar o desgastar generando malestar a los conductores.

En el país chileno existen dos problemas en la construcción de pavimentos urbanos actualmente que son: la organización institucional que pone límites al uso de recursos destinados para la creación de pavimentos y ausencia de un sistema de mantenimiento vial para los pavimentos urbanos (Carlos Videla Cifuentes, 2010). Lo cual a esto presentan varios defectos e servicio afectando directamente la calidad de vida de los pobladores, generando un costo elevado de operación vehicular, creciendo el tiempo de recorrido entre lugares afectando la economía de dicho país.

En España el mal servicio que presentan los pavimentos en operación son indemnización a los ciudadanos afectados, que hasta la fecha ha llegado a una suma de 25,295.00 euros, ocurridos en estos tres últimos casos como se describe a continuación. El ayuntamiento de Gijón repara daños ocasionados por la ausencia de mantenimiento de los pavimentos (El Comercio, 2017) En junio de 2015 un hombre sufrió un esguince de tobillo, después de pisar un socavón de la calzada por la existencia de un bache. Cuando el afectado se encontraba descargando varios enseres de su vehículo. El bache generaba una importante irregularidad en el piso, interrumpiendo su rasante natural y creando un accidente en el pavimento. Como resultado de ello, vino a dar con su pie derecho en ese desnivel. Sufrió un esguince y estuvo de baja laboral durante un mes. El Ayuntamiento le debe indemnizar ahora con 3,985 euros.

En España, el estado es responsable de accidentes de tránsito ocurridos por el mal estado que presenta los pavimentos. Por lo cual la organización de justicia tiene la autoridad de multar al gobierno con numerosas cifras por las malas construcciones de pavimentos y puestos en operación en malas condiciones. Afectando y poniendo en riesgo la salud del poblador.

En México, vías que presentan defectos de mal servicio, principal problema de accidentes. El tramo San Luis Potosí – Querétaro y las salidas a Hidalgo, da paso a accidentes de camiones de carga y embotellamientos por la presencia de baches. Este por falla de mantenimiento periódico y la mala construcción del pavimento (Imelda Hernández, 2017).



Figura 1. Pavimento en México.

Fuente. Diario Pulso, 2017.

En Guatemala vías en condiciones de mal servicio podrían disminuir la cantidad de turistas que visitan dicho país cada año. “El turismo es un motor de desarrollo, cuyo impacto positivo muchas veces no se valora, y las carreteras son su principal brazo y una de las herramientas que tiene para su expansión y aprovechamiento. Por eso, es lamentable que no se le dé la prioridad necesaria”, dijo el presidente de la Cámara de Turismo (Camtur) Diego Díaz Figueroa. Mencionó que esta situación impacta negativamente el “gran esfuerzo”, que realizan muchos pequeños empresarios del turismo en el interior del país, quienes tienen que capacitarse mediante cursos a nivel internacional para ofrecer servicios de calidad al visitante.

1.1.2. A nivel nacional.

En el Perú de 1940 a 2016 en el último mandato se ha construido 7300 km entre los cuales se ha construido carreteras pavimentadas como: La carretera hacia Cutervo en Cajamarca; La carretera del Valle de los Volcanes en Arequipa; el corredor de Cotahuasi, la carretera que va desde Pichari a Puerto Ene y luego a Pumantia entre Junín, Ayacucho y Cusco; la carretera que va por Cajatambo en la zona norte de Lima y el sur de Ancash; carreteras de puno; el corredor Chaka-Quechua-Aymara. Lo cual algunas carreteras desde 1940 que era a nivel de subrasante (trocha) hoy han sido remplazadas por el pavimento. Así, el estado peruano ha invertido en alrededor de s/. 30,000 millones acumulando 23,045 kilómetros de carretera pavimentada los cual ha sido un cambio económico expresivo en los últimos 15 años, quedando aún todavía construcciones futuras de vías y dar un inicio total al aumento de la productividad de las regiones y mejorando la salud y la educación (Jaramillo, 2016). El desarrollo de un país depende en gran parte del progreso que se tiene en sus obras viales, ya que son vías que nos permiten mantenernos conectados con diferentes ciudades.

Costos de transporte detienen numerosas exportaciones, gobierno peruano confía en que logrará impulsar inversiones en las regiones, el mal estado de las vías de transporte y la ausencia de ellas vienen afectando nuestras exportaciones. La deficiente infraestructura genera un sobre costo en el precio final de los productos de entre 20% y 4%, concluyó el estudio muy lejos para exportar, presentado ayer por el Banco Interamericano de Desarrollo (BID). Fidel Jaramillo, representante de esta entidad financiera en Perú, subrayó que si los costos de transporte se redujeran en 10%, los envíos al exterior aumentarían en 40% (perú21, 2013). Con ello se logrará una reducción en los costos de transporte y se elevará la productividad de los exportadores.



Figura 2. Mal estado de vías de transporte en el Perú.

Fuente. Perú 21, 2013.

1.1.3. A nivel local.

Llevar a cabo un proceso constructivo con bastante control es muy importante, ya que una mala ejecución de las obras trae consigo muchas consecuencias. Así, especialistas del colegio de ingenieros de Lambayeque constataron que vías del centro de la ciudad tienen grietas a solo dos meses de su inauguración (peru21, 2014). Un factor que influye en la aparición de grietas es la mala compactación de las diferentes capas que constituyen a dicha estructura.

En este caso, probablemente ha pasado la vida útil de los pavimentos por ello se muestran deteriorados, puesto que ya no tienen resistencia para soportar el tránsito vehicular. También se puede dar el caso de que en su ejecución no se llegó al óptimo grado de compactación. Así, las calles de populoso distritito de José Leonardo Ortiz, en Chiclayo, permanecen en mal estado, como es el caso del cruce entre las avenidas El Dorado y

América, una de las zonas con mayor afluencia de vehículos de todo tipo y tamaño, debido a su proximidad con el mercado Moshoqueque (Camasca, 2015).

Actualmente en Lambayeque para llegar a obtener el óptimo grado de compactación se ha realizado de una forma de acción y respuesta, iniciando con un numero de pasadas base en función del rendimiento del equipo que muchas veces no se ha llegado al 100%, y tener que volver a pasar el equipo y ajustarse a lo establecido en la normas de calidad. Finalmente no existe un número patrón de números de pasadas necesarias y suficientes para llegar al óptimo grado de compactación de una capa de afirmado.

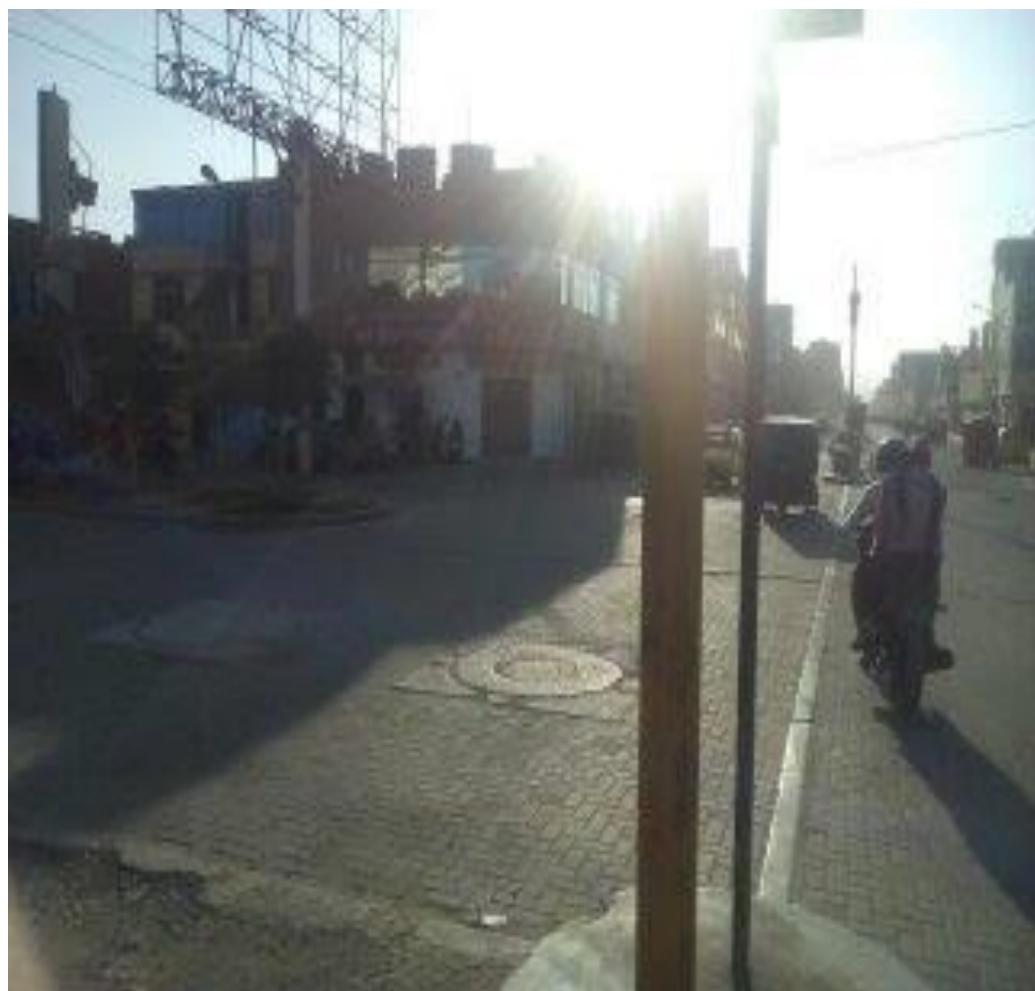


Figura 3. Pavimento deteriorado entre las avenidas México y Sáenz Peña.

Fuente: Elaboración propia, 2017.

En Lambayeque existe una gran cantidad de calles que se encuentran mal pavimentadas, especialmente en el Distrito de José Leonardo Ortiz. Actualmente las autoridades correspondientes están llevando a cabo proyectos de mejoramiento vial para el beneficio de los conductores y peatones.



Figura 4. Pavimento deteriorado entre las avenidas México y Sáenz Peña.

Fuente: Elaboración propia, 2017.

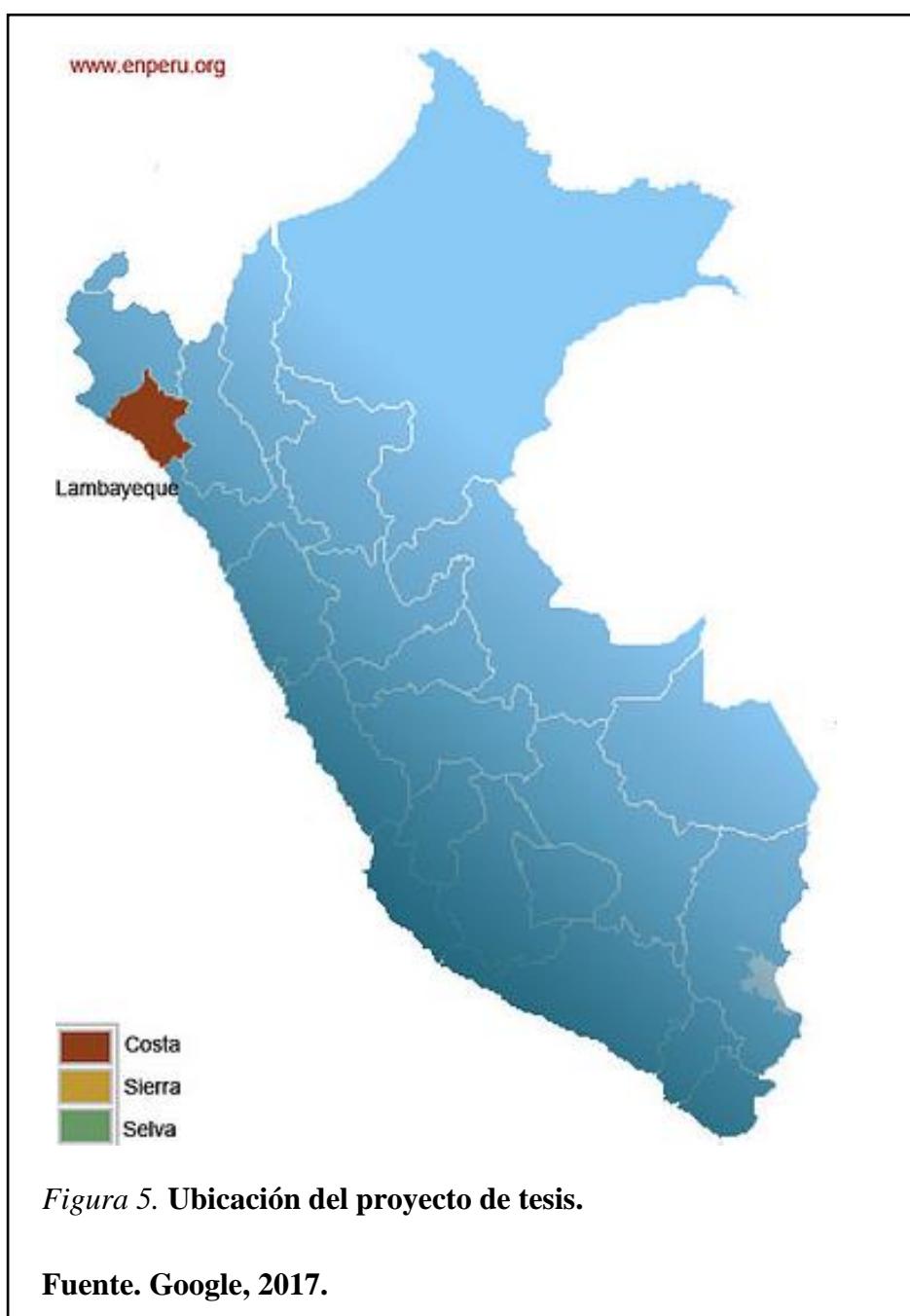
1.1.4. Objeto de estudio.

Con los datos obtenidos tanto en campo como en el laboratorio, se elaborará una figura donde se observe una correlación entre el número de ciclos del equipo compactador y la densidad de campo en su 100%, las cuales se utilizarán en varios proyectos de

construcción de carreteras para bases granulares de afirmado que se ejecuten en la región Lambayeque.

1.1.5. Delimitación del estudio.

Ésta investigación es aplicable en zonas hasta los 500 m.s.n.m del departamento de Lambayeque.



ZONA 1:

La zona 1 es el lugar donde se ejecutó el proyecto: “MEJORAMIENTO DEL SERVICIO DE TRANSITABILIDAD EN LA CALLE ROMA CUADRAS 01, 02 Y 03. PROLONGACIÓN ROMA CUADRAS 01, 02 Y 03 – URB. URUNAGA, DISTRITO DE JOSÉ LEONARDO ORTIZ – CHICLAYO – LAMBAYEQUE”, donde se utilizó material extraído de la cantera TRES TOMAS y se construyó una capa de base granular de 150 mm de espesor.

Localización política:

DEPARTAMENTO : LAMBAYEQUE
PROVINCIA : CHICLAYO
DISTRITO : CHICLAYO

Localización geográfica:

Tabla 1

Coordenadas de la Zona 1.

PUNTO	COORDENADAS GEOGRÁFICAS		COORDENADAS UTM		Cota m.s.n.m
	Latitud	Longitud	Norte	Oeste	
Inicial	6°45'0.56" S	79°49'58.99"O	9253707.8	628971.69	30
Final	6°45'1.76"S	79°49'48.40"O	9253671.1	629289.39	31

Fuente: Elaboración propia, 2017.

Para realizar los ensayos de densidad de campo con el Cono de Arena se abarcó parte de las dos cuadras a nivel de base granular, que hacen un total de 81.50 m. en las progresivas siguientes:

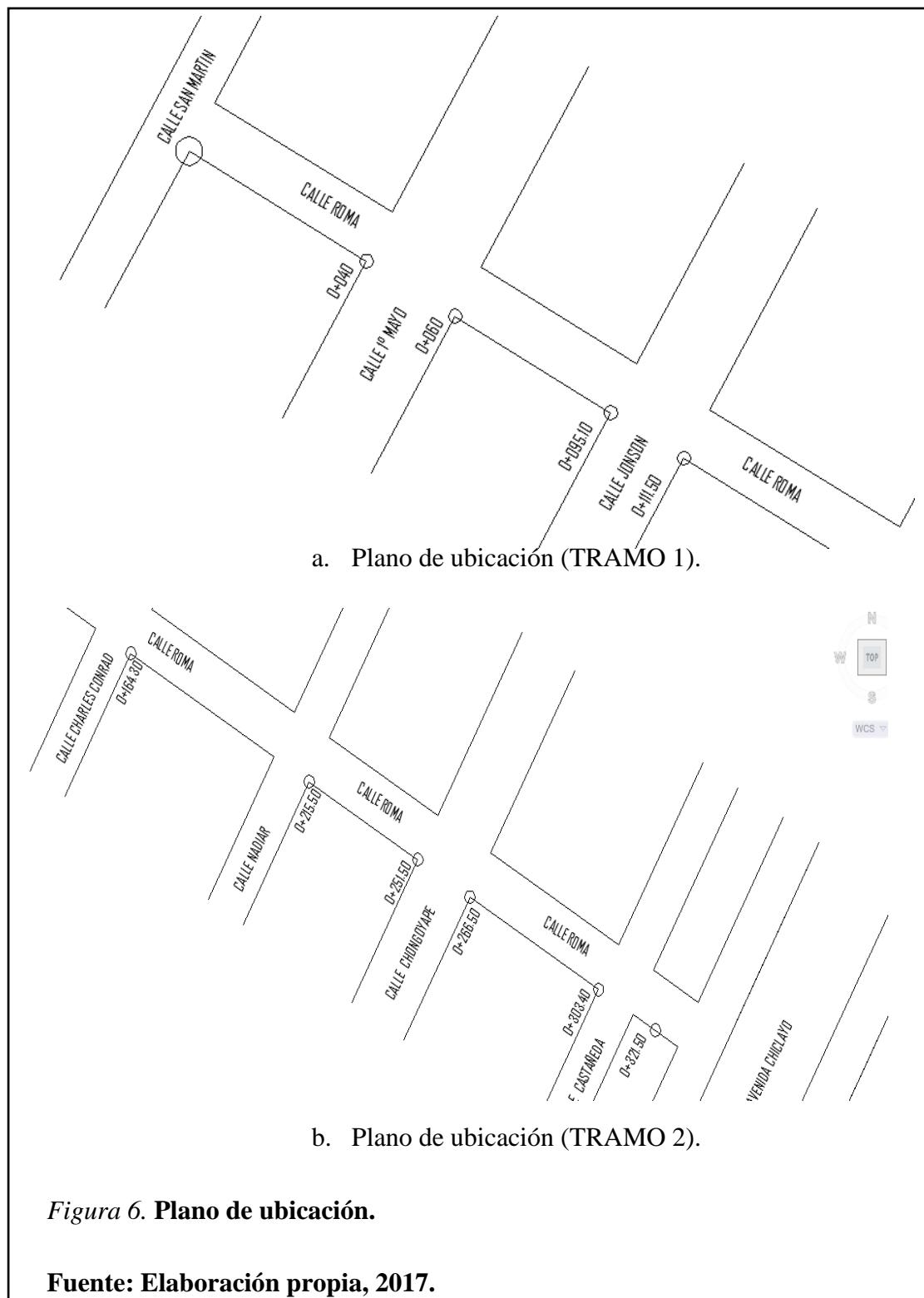


Figura 6. Plano de ubicación.

Fuente: Elaboración propia, 2017.

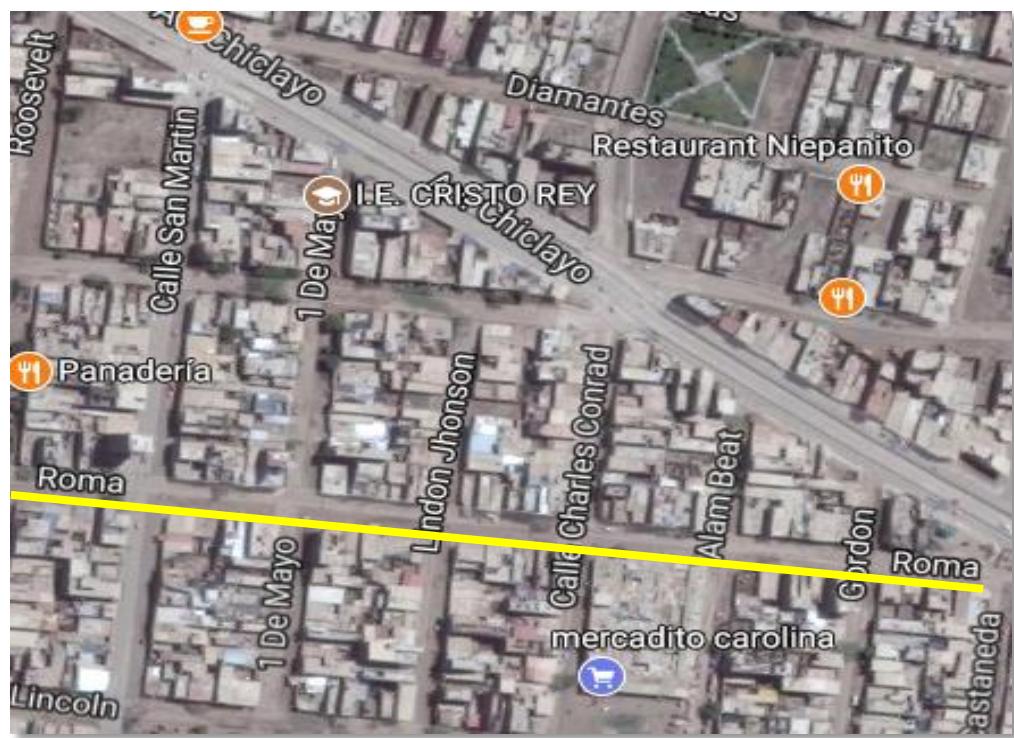


Figura 7. Ubicación del proyecto de la zona 1.

Fuente. Google Earth, 2017.



Figura 8. Vista panorámica de la zona 1.

Fuente: Elaboración propia, 2017.

Fotografía tomada a la base de la pavimentación donde se realizó los ensayos de densidad de campo con el método del Cono de Arena, para una base de 15 cm en la construcción de carreteras utilizando material afirmado de la cantera Tres Tomas.

ZONA 2:

La zona 2 es el lugar donde se construyó terraplenes para la cantera Tres Tomas (20 y 25 cm) y La Victoria (15,20 y 25 cm) cada tramo de 25 metros de longitud. Se llama zona 2 al terreno que se alquiló para la realización de los ensayos.

Localización política:

DEPARTAMENTO	:	LAMBAYEQUE
PROVINCIA	:	CHICLAYO
DISTRITO	:	LA VICTORIA

Localización geográfica:

Tabla 2

Coordenadas de la Zona 2.

PUNTO	COORDENADAS GEOGRÁFICAS		COORDENADAS UTM		Cota m.s.n.m
	Latitud	Longitud	Norte	Oeste	
Punto Central	6°48'31.04" S	79°50'00.96"O	9247243.31	628895.66	26

Fuente: Elaboración propia, 2018.



Figura 9. Ubicación del proyecto de la zona 2.

Fuente. Google Earth, 2018



Figura 10. Vista panorámica de la zona 2.

Fuente: Elaboración propia, 2018.

Se puede apreciar con claridad en la figura 9, las marcas de yeso que se hizo para que la motoniveladora pueda hacer el trabajo adecuado.

1.2. Formulación del Problema

¿Cómo se realizará la correlación entre el número de ciclos de compactación y la densidad de campo para bases granulares de carreteras en la región Lambayeque?

1.3. Hipótesis

Si se obtiene una correlación entre el número de ciclos de compactación y la densidad de campo entonces se construirá bases granulares de carreteras en la región Lambayeque de calidad.

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo general.

Realizar una correlación entre el número de ciclos de compactación y la densidad de campo para bases granulares de carreteras en la Región Lambayeque.

1.4.2. Objetivos específicos.

Extraer afirmado en canteras representativas de la región Lambayeque.

Realizar estudio de Mecánica de Suelos del afirmado.

Realizar ensayos de densidad de campo con el método del Cono de Arena.

Obtener la correlación entre el número de ciclos y la densidad de campo.

1.5. Justificación

Tomando como una técnica de trabajo en campo a la compactación, se planteará la siguiente interrogante;” ¿Teniendo el equipo adecuado y sabiendo como operarlo y conociendo todo el proceso en general se obtendría mejores resultados?, lo cual una adecuada compactación depende del material y equipos con que se cuenta en campo. El presente estudio facilitará una mejor programación de obra en cuanto al tiempo y costo para

la ejecución de obras viales en la región de Lambayeque, beneficiando a aquellas empresas y entidades que se dedican a este rubro, tanto en el sector público como privado.

Dado que en nuestro país existen normas para garantizar un trabajo de calidad, estas normas están en base a las características del material en cuanto a su forma y gradación granulométrica que debe cumplir con los tamaños establecidos. Ministerio de Transportes y Comunicaciones - PERU (2013) refiere también en cuanto el rendimiento del equipo y las características de energía para amasar el afirmado y las velocidades con que se trabaja.

Esta investigación servirá como un control en cuanto al número de ciclos que serán aplicados sobre la base granular para alcanzar su máxima densidad en campo, cuyo fin se tiene determinar un número de “CICLOS PATRÓN” para optimizar los ciclos que realiza el equipo compactador en campo en función del rendimiento y el óptimo grado de compactación obtenido en el laboratorio. El desarrollo del presente proyecto permitirá tener al alcance una vía de acceso en menor tiempo y de buena calidad a menor costo, brindando mayor seguridad y mejor calidad de vida, así mismo incentivará a los estudiantes a realizar experimentaciones como un modelo de mejora en los diferentes procesos constructivos, incorporando nuevos parámetros de diseño, logrando objetivos académicos como la experiencia que es fundamental en el desarrollo profesional del investigador.

Por el beneficio:

La investigación beneficiará no sólo a las empresas constructoras que abordan la rama de la Ingeniería Vial sino también a los conductores ya que tendrán sus vehículos conservados y esto disminuirá económicaamente sus gastos con respecto a reparaciones.

Por la fuente de información:

Los datos de esta investigación van a ayudar a dar solución a aquellos problemas de los pavimentos que se originen por causa de una mala compactación en la región Lambayeque, ya que dicha información se encontrará al alcance de todos de una manera fácil y explicativa.

Por la utilidad metodológica:

Esta investigación brindará datos reales que podrán ser verificados o cuestionados, y gracias a esto los ingenieros civiles podrán diseñar pavimentos más seguros y de mayor vida útil beneficiando a la ciudadanía en este caso a la población de la región Lambayeque.

Por el resultado:

Con los resultados de esta investigación se dará solución al problema que conlleva el no saber la cantidad de ciclos del equipo compactador para obtener un pavimento de calidad, así también se solucionará la informidad de peatones y conductores en la región Lambayeque.

Por impacto ambiental:

Se disminuiría de manera moderada la calidad del aire y los altos niveles de ruido por la operación de la maquinaria.

1.6. Antecedentes**1.6.1. A nivel internacional.**

En la tesis titulada: Comparación de resultados de densidad de campo por los métodos cono y arena, volumétrico y densímetro nuclear. Silvia Alexandra Guerrón Avecillas (2013) refiere que en ésta investigación se elabora un análisis comparativo en el cual es más accesible a los resultados de densidad de campo, el método cono y arena para suelos que conformen sus partículas con un tamaño máximo de 2 pulgadas. Lo cual este aparato consiste en llenar un vacío con arena de cuarzo de tamaños uniformes. El método del volumétrico que consiste en ocupar el vacío realizado al suelo con agua. Para esto el equipo está equipado con un dispositivo de medición del agua exportada hacia el vacío, éste método es poco utilizado ya que el vacío puede presentar orificios o huecos desproporcionados y dar resultados erróneos. Por último ésta investigación nos describe el método del densímetro nuclear, el cual a diferencia de los anteriores es que no es destructivo. Consiste en la radicación de rayos gamma al suelo compactado, en cuanto más sea compactado el suelo mejor son los resultados. La densidad del suelo es medida por los vacíos presentes en el suelo compactado y estos son reflejados por los rayos gamma. En cuanto al tiempo, costo y precisión de los resultados, para suelos finos y granulares es recomendable

el cono de arena seguido del volumétrico, ya que el densímetro nuclear dio resultados en menor tiempo, el cono de arena es el más eficiente y seguro, siendo más económico que el densímetro nuclear.

En esta investigación titulada: Estabilización de suelos en carretera. Pedro Andrés Rodríguez (2015) refiere que en este estudio se describe los trabajos realizados, para la ejecución de la estabilización de suelos, desde el ejemplo de la maquinaria conveniente hasta la técnica óptima para la conformación de terraplenes. Describiendo las experiencias de obras de carretera tanto a nivel de ensayos, como en la ejecución de los trabajos y duración de los mismos. Relata las finalidades de estabilizar un suelo con el objetivo de un mejoramiento de las condiciones ambientales, condiciones económicas y técnicas. Paralelamente con el aprovechamiento de los materiales disponibles y que son aptos para su empleo, que se encuentran disponibles y cerca al lugar de la infraestructura terrestre. Estabilizar un suelo es muy importante ya que le da resistencia y mejor capacidad para soportar cargas.

En la tesis con el título: guía de procesos constructivos de una vía en pavimento flexible. Bonett Solano (2014) refiere que desde el punto de vista técnico la presente investigación se realiza con la finalidad de describir aquellas actividades que sean requeridas para ejecutar el proceso de construcción en un nivel básico de un pavimento flexible que se encuentre en terrenos planos con ondulaciones menores; desde ésta perspectiva se quiere implantar de manera clara en el ingeniero civil lo que debe tener en cuenta para la ejecución del fin constructivo y cuáles serían las etapas necesarias e indispensables para dicho fin estudiado; entendiendo lo que se pretende mostrar en éste informe de indagación, lo primordial será llevar a cabo un análisis de información, que se puede obtener de la correspondiente investigación o bien del material de bibliografías que existe acerca de dicha materia, o información recopilada por otros métodos de recolección de datos, todo esto con el fin de determinar con precisión y con un factor de reducción de riesgo suponiendo en una mala práctica ingenieril considerando por lo menos un 99 %, cuáles son las etapas que se requiere para elaborar una vía de pavimento flexible y que sea construida en terrenos planos y algo ondulados. Realizar estudios e investigaciones sobre procesos constructivos es esencial para un ingeniero y así poder ir a la práctica con todos los conocimientos adquiridos.

1.6.2. A nivel nacional.

En la ciudad de Cajamarca se hizo una investigación muy referente a nuestro tema, por supuesto con otro tipo de material ya que las zonas son muy diferentes, dicho proyecto se titula: Número de ciclos patrón a nivel de capa de afirmado para obtener el óptimo grado de compactación, utilizando métodos: cono de arena y densímetro nuclear, en el acceso principal de Conga, 2015. Cavero Tello Edward Jimmy y Teran Soret Jorge Luis (2015) hacen referencia que en esta investigación se realizan ensayos *in situ* para obtener un patrón de cuantos números de ciclos son necesarios para alcanzar al óptimo grado de compactación en un acceso determinado, basándose solo en los resultados obtenidos en campo mediante los ensayos con los equipos; densímetro nuclear y cono de arena, mas no en las características del equipo y a qué velocidad constante se compacta la capa de afirmado. En conclusión de esta investigación se planteó una hipótesis de ocho ciclos en el cual los resultados no cumplieron con la hipótesis dando como patrón a los seis ciclos para llegar al óptimo grado de compactación.

Conocer las características y calidad de los agregados es muy importante, ya que nos servirá para saber qué tipo de material se debe emplear, para ello la siguiente investigación tiene como título: La importancia del uso de agregados provenientes de canteras de calidad. Castillo (2016) refiere que aquí se pretende dar el conocimiento para reconocer la calidad, volumen y distancia en la que se encuentran los diferentes tipos de materiales de una determinada cantera, que son necesarios en la construcción de obras. Cuando ya se tiene definido lo anteriormente mencionado se deriva realizar las respectivas exploraciones, esto consiste en describir el tipo de material. Por tal motivo en los proyectos de construcción de obras civiles en general, los agregados son utilizados masivamente en la preparación del concreto, por lo que son de suma importancia, ya que deben garantizar una estructura de calidad y en buen funcionamiento.

En todo proyecto de construcción se debe conocer qué tipo de maquinaria es más conveniente utilizar con el fin de obtener mejores rendimientos, por lo que el estudio titulado: Análisis comparativo entre el uso de la esparcidora de agregados y la motoniveladora para la colocación de base granular en un proyecto de carreteras. Tokman

(2016) refiere que este estudio nos brinda conocimiento detallado del equipo nivelador para la conformación de capas de afirmado que nos sirve como base para la realización de nuestro estudio. De tal manera que el equipo que brinde mejor resultados será el más recomendado en la ejecución de proyectos.

1.6.3. A nivel local.

No existen investigaciones a nivel local acerca del número de ciclos necesario del rodillado para alcanzar el óptimo grado de compactación del afirmado de diferentes canteras de la región Lambayeque.

1.7. Marco Teórico

1.7.1. Bases teóricas.

A. Variable 1

A.1. Afirmado

Es empleado en obras de construcción vial para elaborar una o más capas de material debidamente seleccionados, tal es el caso para una capa de rodadura de una carretera, y pueden ser extraídos de manera procesada o natural, siendo debidamente aprobados, colocándolos sobre una capa debidamente preparada. Dichos materiales aprobados pueden ser procedentes de canteras u otras fuentes de explotación de agregados. Esto incluye el transporte, suministro, colocación y compactación del material, en conformidad con las pendientes, los alineamientos y dimensiones indicadas y aprobadas por el supervisor en el proyecto.

Por lo general el afirmado que se menciona en ésta sección se empleará como superficie de rodadura en carreteras no pavimentadas. El MTC – EG 2013 hace referencia que los agregados utilizados en una construcción con afirmado deberán ajustarse a algunas de las franjas granulométricas especificadas en la tabla 2.

Tabla 3

Rangos establecidos para el tamizado del material.

Tamiz	PORCENTAJE QUE PASA	
	A-1	A-2
50mm (2")	100	-
37,5mm (1 ½")	100	-
25mm (1")	90-100	100
19mm (3/4")	65-100	80-100
9.5mm (3/8")	45-80	65-100
4,75mm (Nº4)	30-65	50-85
2.0mm (Nº10)	22-52	33-67
4.25um (Nº40)	15-35	20-45
7.5um (Nº200)	5-20	5-20

Fuente. Ministerio de Transportes y Comunicaciones - Perú, 2013.

A.2. Humedad

Para llegar a la densidad seca máxima se debe tener en cuenta el óptimo contenido de humedad, si esto no alcanza el óptimo, se tiene un suelo rígido que será difícil de compactar, el cual originará bajas densidades y elevados contenidos de aire. En cambio, sí se pasa el óptimo, la humedad aumenta generando que se disminuya la densidad seca pero con el mismo contenido de aire. (Juárez Badillo y Rico Rodríguez, 2005).

A.3. Temperatura

El agua puede evaporarse o condensarse, esto depende de la temperatura en la que se encuentre.

A.4. La curva de saturación.

También conocida como la “curva de cero vacíos de aire” o de “saturación completa”, ya que simboliza las densidades del suelo que se encuentra en un estado de saturación, esto se refiere cuando el suelo presenta cero contenido de vacíos. (Villalaz, 2007).

B. Variable 2.

B.1. Ciclo de compactación.

Son las pasadas del equipo compactador, consiste en la ida y la vuelta a su punto de partida en un tramo determinado y a una velocidad constante.

B.2 Rendimiento del equipo de compactación.

Es la cantidad de material que puede ser compactado por un determinado rodillo vibratorio. Juárez Badillo y Rico Rodríguez (2005) dicen que se puede determinar con la Ecuación 1:

$$R = \frac{V * E * D * A}{N} * 100$$

Ecuación 1. Rendimiento del equipo de compactación.

Dónde:

R = material suelto compactado (m^3/h).

V = velocidad (km/h).

E = eficiencia de la operación, aproximadamente 0.83.

D = profundidad del material suelto (m).

A = ancho efectivo del equipo compactador (m).

N = número de pasadas del equipo compactador.

B.3. Grado de compactación (G.C).

Es el parámetro más empleado para el control que debe tener la compactación de suelos en nuestro medio. Montejo Fonseca (2006) señala que consiste entre la relación del peso unitario seco compactado del suelo en obra y el máximo peso unitario seco que se obtiene en laboratorio, para el cual se emplea el mismo material. Así se tiene la siguiente ecuación:

$$G.C = \frac{PESO VOLUMETRICO SECO MEDIDO EN EL TERRENO}{PESO VOLUMETRICO MAXIMO DE LABORATORIO} \times 100$$

Ecuación 2. Grado de compactación.

Dónde:

GC = grado de compactación (%).

PVSM = peso volumétrico seco medido en el terreno (kg/m³).

PVM = peso volumétrico máximo de laboratorio (kg/m³).

B.4. Compactación

Según Montejo Fonseca (2006) es un proceso que se realiza por medios artificiales para el beneficio de la obra, haciéndola duradera y a la vez pueda concluir con las características para la que fue diseñada, ya que con este proceso se desea tener un suelo que garantice mejores características.

Por otro lado, Juárez Badillo y Rico Rodríguez (2005) señalan que por el aumento de la resistencia, la capacidad portante que se adquiere, la disminución de la capacidad del suelo a las deformaciones que se obtienen mediante técnicas que aumentan su peso específico seco, y la disminución del porcentaje de vacíos, de esto radica la importancia que se le brinda a la compactación de suelos.

Ventajas:

Aumenta la capacidad de carga y la resistencia.

Disminuye los vacíos.

Reduce la compresibilidad.

Mejora la relación esfuerzo-deformación del suelo.

Resistencia a la erosión.

Para una compactación de calidad se debe tener en cuenta diversos factores. Juárez Badillo y Rico Rodríguez (2005) señalan los siguientes factores que influyen en los resultados para una buena compactación:

Existen varios métodos de compactación tanto en campo como en laboratorio, por tal motivo es importante saber elegir el método a utilizar ya que de esto dependen los resultados que se obtendrán.

B.5. Tipo de suelo.

Para diferenciar el tipo de suelo en el que se va a trabajar, se debe realizar un ensayo de granulometría, y esto radica en gran parte de su contenido de finos, tamaño de sus partículas, tipo de minerales arcillosos y la cantidad requerida. Las técnicas de compactación que se utilicen serán las adecuadas a la naturaleza del suelo. Los resultados en laboratorio estarán influenciados por el tamaño de las partículas del suelo; se tendrá para un suelo fino densidades secas máximas bajas y contenido óptimo de humedad alto, en cambio para un suelo granular se llegará a densidades máximas secas altas para óptimos contenidos bajos de humedad. (Juárez Badillo y Rico Rodríguez, 2005).

B.6. Energía específica.

Consiste en la presión que se ejerce sobre el suelo por unidad de volumen en la fase de compactación. Para definir la compactación por impacto en laboratorio se tiene la siguiente ecuación:

$$Ec = \frac{N * n * W * h}{V}$$

Ecuación 3. Energía específica.

Dónde:

Ec = energía específica (Jl).

N = número de golpes del pisón por capas.

n = número de capas.

W = peso del pisón compactador (kg).

h = altura de caída del pisón (m).

V = volumen total del molde de compactación (m³).

Para comprobar si al emplear una energía mayor de compactación se logra tener densidades altas secas y óptimos contenidos bajos de humedad, se analiza los resultados que se obtuvo en laboratorio de la prueba de Proctor estándar. (Juárez Badillo y Rico Rodríguez, 2005).

B.7. Densidad de campo.

Es un ensayo que se lleva a cabo en el campo mismo, permite comprobar si la compactación es la misma cercana a lo óptimo que se debe llegar. Se mide el rodillado de las capas de bases, sub bases, afirmados de espesor correspondiente a los resultados de la densidad de campo se da en las unidades gr/cm³, kg/m³, lb/pie³. (Monroy, 2009).

B.8. Método del cono de arena (ASTM D -1556 – MTC E 117).

En éste método se utiliza el equipo denominado como el cono de arena, y éste proceso se realiza en el sitio mismo que consiste en perforar la capa compactada y ver la relación del volumen con la arena del cono. Éste ensayo está limitado a que no es aceptable en suelos con diámetro mayor a 1½ pulgadas (38mm), ya que esto no sería un resultado eficiente porque habría vacíos por la presencia de partículas grandes.

Es aceptable para cualquier suelo que se pueda perforar manualmente y que no presente oquedades en las paredes del hoyo ya que la arena del cono podría ocupar y tener resultados erróneos.

Éste método no es aceptable para suelos deformables, orgánicos, saturados o altamente plásticos ya que tendería a hundirse o a deformarse al excavar manualmente.

B.9. El aparato de densidad de campo.

Consta de un recipiente desmontable o un contenedor de arena el cual tenga una cantidad de volumen superior al volumen necesario para de esta forma llenar el hoyo de prueba y el equipo en la realización del ensayo. El equipo desmontable es una válvula cilíndrica presentada en un extremo con un orificio de 13 mm (1/2") de diámetro y en el otro extremo a un cono (embudo). Ésta válvula tiene un seguro para impedir la rotación que se origina de una posición completamente abierta a otra completamente cerrada.

También cuenta con una plancha metálica bien sea rectangular cuadrada, que contenga un hoyo central con orillas para que pueda recibir el cono (embudo grande). La plancha será de un grosor de 3/8" a ½" (10 a 13 mm), debe tener una base uniforme y ser suficientemente indeformable.

La arena debe ser limpia, semejante, seca, resistente y que transcurra libremente, que presente un coeficiente de uniformidad ($Cu=D60/D10$) menor que 2, el tamaño máximo de partículas menor que 2.0 m (Malla N°10) y menos del 3% en peso que pase la (Malla N°60). Debe estar libre de finos y partículas de arena fina para evitar cambios notables en la densidad de la masa.

1.7.2. Normativa técnica, legal, ambiental, seguridad, salud ocupacional, riesgos.

C.1. Ensayo de contenido de humedad (ASTM D – 2216 – MTC E 108).

Se expresa en porcentaje y es la relación que existe entre el peso del agua y el peso de las partículas sólidas que se originan en una masa dada de suelo.

Aparatos:

Recipientes o taras para las muestras.

Utensilios como; cuchillos, espátulas, guantes y tenazas.

Balanza con aproximación de 0.01 gr.

Horno de secado ($110 \pm 5^\circ\text{C}$)

Procedimiento:

En la balanza se pesa el recipiente o tara solo.

Luego se pesa la muestra con el recipiente, este dato se anota como peso de la tara más la muestra húmeda.

La tara que contiene la muestra es colocada en el horno por un periodo aproximado de 24 horas, es decir hasta que este seca la muestra.

Pasado ese tiempo cuando la muestra ya este seca es retirada del horno y se deja enfriar a temperatura ambiente. Inmediatamente después se pesa la muestra con la tara en la balanza, este dato es registrado como peso de la tara más muestra seca.

Se va utilizar la siguiente fórmula para calcular el contenido de humedad en laboratorio:

$$w = \frac{\text{Peso de agua}}{\text{Peso del suelo secado al horno}} \times 100$$

Ecuación 4. Contenido de humedad.



Figura 11. Horno y taras para el secado de las muestras.

Fuente: Elaboración propia, 2017.

C.2. Contenido de humedad en suelos con el método del carburo de calcio (ASTM D-4944 – MTC E 126).

Este ensayo determina la humedad de un suelo utilizando un probador a presión de humedad de gas, el cual contiene carburo de calcio. Por ser un método a presión el material granular a emplearse no deberá contener partículas muy grandes de tal manera que no afecte la presión del ensayo.

Aparatos:

Probador de gas a presión de carburo de calcio.

Balanza de aproximadamente 0.1 g.

Dos esferas de acero de (1 ¼") de diámetro, (31.75 mm).

Un cepillo para la limpieza.

Una cuchara medidora de reactivo de carburo de calcio.

Procedimiento:

Se pesa la muestra con el peso exacto especificado por el fabricante y la muestra se coloca en la tapa del probador.

Colocar las dos esferas de acero en el probador con el carburo de calcio, teniendo en cuenta que el vaso de presión esté en una posición aproximadamente horizontal.

Levántese el probador hasta una posición vertical.

Agitar el aparato fuertemente de tal manera que todos los terrones se fragmenten hasta lograr que el carburo de calcio reaccione con toda la humedad libre. Deberá agitarse con suelos granulares durante 1 minuto y con suelos restantes hasta 3 minutos.

Cuando paralice la aguja, leer el dial manteniendo horizontalmente el instrumento a la altura del ojo.

Analizar el peso total de la muestra y a la vez la lectura del dial.

C.3. Compactación de suelos en laboratorio utilizando una energía modificada (PROCTOR MODIFICADO) (ASTM D-1557- MTC E 115).

Descripción del ensayo:

Es un ensayo que permitirá definir la relación entre el peso unitario seco y el contenido de agua de los suelos, ya que abarca todos los procesos que se utilizó en laboratorio para la compactación. Para el cual se toma un suelo con un contenido de Humedad determinado y es colocado en 5 capas dentro de un molde de diámetro de 6", cada

una de las capas es compactada en 25 ó 56 golpes con un pisón de 10 lbf (44.5 N) desde una altura de caída de 18 pulgadas (457 mm), sometiendo al suelo a un esfuerzo de compactación total de aproximadamente de 56 000 pie-lbf/pie³ (2 700 kN-m/m³). Se determina el Peso Unitario Seco resultante. El procedimiento se repite con un número suficiente de contenidos de agua para establecer una relación entre el Peso Unitario Seco y el Contenido de Agua del suelo. Estos datos, cuando son ploteados, representan una relación curvilínea conocida como curva de compactación.

Los valores de Óptimo Contenido de Agua y Máximo Peso Unitario Seco Modificado son determinados de la curva de compactación. Es necesario recalcar que para realizar el Proctor Modificado se utilizará el método C.

Método C:

Para este método se requerirá aquel material cuya muestra pasa el tamiz de 19mm (Nº ¾), un molde de 6 pulgadas (152.4 mm). Se debe separar el material en 5 capas para compactarlas aplicándole 56 golpes a cada capa.

C.4. Análisis granulométrico de suelos por tamizado (ASTM D-422 – MTC E 107).

La granulometría es el ensayo que da a conocer los intervalos de tamaños de las partículas, representando cada intervalo de tamaño un porcentaje del peso total de todas las partículas de la muestra del suelo en estudio.

Los tamaños de las partículas que contiene la muestra del suelo en estudio, son representados mediante gráficos de curvas de graduación logarítmica, éstas curvas según a su forma de curva puede ser un suelo bien graduado o mal graduado, ya que los tamaños de las partículas deben tener porcentajes de tamaño poco desproporcionados. Estos gráficos describen los pesos retenidos mediante seleccionadores de un tamaño a continuación de otro, para percibir y tener un entendimiento fácil en cuanto a la distribución de las partículas del material que vamos a emplear en una determinada construcción, a continuación se muestra los tamaños de los tamices seleccionados establecidos por la correspondiente norma.

Tabla 4*Diámetro de las aberturas de los tamices.*

TAMIZ (ASTM)	ABERTURA REAL (mm)	TIPO DE SUELO
3"	76.12	GRAVA
2"	50.8	
1 1/2"	38.1	
1"	25.4	
3/4"	19.05	
3/8"	9.52	
N° 4	4.76	ARENA GRUESA
N° 10	2	ARENA MEDIA
N° 20	0.84	
N° 40	0.42	
N° 60	0.25	ARENA FINA
N° 140	0.105	
N° 200	0.074	

Fuente. Ministerio de Transportes y Comunicaciones - Perú, 2013.**C.5. Límites de consistencia de Atterberg.**

Estos ensayos que lleva el nombre de límites de Atterberg por quien estableció estos estados del suelo, nos describe entre los 4 estados que sé que son líquido, plástico, sólido y semisólido. Lo cual el límite líquido está en medio del estado líquido y plástico; el límite plástico que está entre estado semisólido y plástico, y el límite de contracción que se encuentra entre el estado sólido y semisólido.

C.5.1. Límite líquido (L.L) (ASTM D-423 – MTC E 110).

El límite líquido es un ensayo que se realiza mayormente hoy en día con un dispositivo llamado la Copa Casagrande en honor a su creador Arthur Casagrande, éste dispositivo tiene un diámetro máximo de 10.8 cm, un espesor de 2mm y un peso de 0.200 kg. El ensayo consiste en dar un número de golpes a una masa húmeda del suelo preparado hasta que se junte mediante una separación hecha manualmente con una espátula. Los resultados de éste proceso se muestran mediante un gráfico en función al número de golpes y el contenido de humedad en función del peso seco de la muestra.

Preparación de la muestra por el método seco:

La muestra retenida en la malla N°4, se seleccionada mediante un cuarteo 150 gr.

Se pasa el material a través del tamiz N°40, desechando el material que queda retenido.

El material que pasó por el tamiz se procede a ponerlo en un recipiente.

Se procede a agregar agua gradualmente y con la ayuda de una espátula se hace una masa suave y pastosa.

Preparación de la muestra por el método húmedo:

La diferencia de éste método es que la muestra se humedece más tiempo dejando de un día para el otro, con la conveniencia de que las partículas más microscópicas humedecen, también se realiza a la muestra seca una selección, con la malla N°40 apartando todas las partículas que pasan y lavar el suelo retenido.

C.5.2. Límite Plástico (L.P) (ASTM D-424 – MTC E 111).

El límite plástico (L.P) consiste en ver el nivel de plasticidad del suelo en función al contenido de humedad que éste muestra. Este es un porcentaje del peso

secado al horno del suelo. Se procede a secar al horno cuando se realiza unos filamentos con la muestra ya mezclada en agua como se realizó para el límite líquido, la formación de filamentos consiste en aplanar una bola de la mezcla y así formar bastoncillos de diámetro de 3.17 mm (1/8") repetidas veces hasta que le bastoncillo presente grietas. Cuando el bastoncillo presenta grietas se procede a secar al horno para determinar el porcentaje de humedad.

En las muestras que no se puede manipular para formar bastoncillos, son denominados como no plásticos (N.P.).

C.6. Clasificación de los suelos.

En la clasificación de los suelos se acostumbra a realizarlo con los métodos AASHTO y SUCS la primera que se emplea mayormente para materiales que se utilizan en la construcción de carretas conformando subrasantes, capas de afirmado y el mejoramiento de terrenos de fundación. La segunda para materiales que interactúan más con edificaciones o estructuras que son más vulnerables ante un evento sísmico. Se clasifica los suelos en función de la distribución de los tamaños de sus partículas, el porcentaje de humedad que presenta, su capacidad para deformarse, viendo el nivel de plasticidad y el límite de contracción del suelo. (Braja M. Das, 2008).

C.6.1. Sistema de Clasificación AASHTO.

Este método de selección de los suelos fue autóctonamente ideado por Hihwaie Research Board (1945) que es el comité sobre la clasificación de materiales para caminos de tipo granular y subrasantes. Con relación a la forma actual de éste procedimiento, los suelos pueden clasificarse según ocho grupos principales, A-1 A-8, en cuanto a la distribución proporcional de su granulometría, límite líquido e índice de plasticidad. Estos suelos están en los grupos A-1, A-2 Y A-3 siendo éstas partículas de diámetro grueso y aquellos en los grupos A-4, A-5, A-6 Y A-7 son de diámetro fino. El filer, compostas orgánicas y como suelos que pasan el tamiz N°200 quedan clasificados en el grupo A-8 (Braja M. Das, 2008).

C.6.2. Sistema Unificado SUCS (ASTM D 2487).

Es empleado para suelos donde hay poca presencia de materiales con diámetros mayores, fue ideado por Arthur Casagrande en 1945, este método clasifica al suelo en materiales finos y materiales granulares. Representándolos con dos letras lo cual la primera letra es el material predominante de la muestra. Éste sistema se basa en el color, la textura y el tamaño de las partículas. (Braja M. Das, 2008).

D. Impacto ambiental.

El Sistema Nacional de Evaluación de Impacto Ambiental – SEIA, proporciona a los titulares de los proyectos la certificación ambiental y la aprobación de instrumentos de gestión ambiental durante el ciclo de vida del proyecto, evitando de esta manera afectar a los recursos naturales, la contaminación y la salud de las personas.

Este proyecto impactará de forma positiva en el ambiente ya que al contar con un parámetro específico del número de CICLOS, la compactación se realizará en menor tiempo y esto disminuirá de manera moderada la contaminación del aire y los altos niveles de ruido por la vibración del equipo compactador manteniendo intacta la salud de las personas que habitan cerca de la zona de estudio.

E. Gestión de riesgos.

Para el beneficio de los objetivos y el éxito del proyecto se hace una gestión de riesgos donde se identificará, analizará y se responderá a los posibles factores de riesgo que podrían haber durante el periodo de vida del proyecto.

TIEMPO

Para el desarrollo del presente proyecto el tiempo es un riesgo inevitable, ya que se debe realizar los ensayos de densidad de campo en un lapso de tiempo que no origine un retraso trayendo consigo perjudicar al titular de la obra y éste no nos permita realizar los ensayos necesarios.

CLIMA

El clima es un factor importante en el desarrollo de la tesis ya que al presentarse una precipitación en el acto, alteraría los resultados. Por ende se tendría que retomar el proceso cuando el clima este favorable.

F. Sistema de costos y presupuesto.

Tabla 5

Presupuesto de la investigación.

ITEM	NOMBRE DE LA TAREA	N°	COSTO	COSTO
			FIJO	TOTAL
1.0	GASTOS EN MATERIALES			S/. 3,069.30
1.1	PICO Y PALA ANGOSTA DE 60 CM	1	S/. 35.00	S/. 35.00
1.2	BOLSAS DE PLÁSTICO	3	S/. 4.00	S/. 12.00
1.3	WINCHA DE 5 M	1	S/. 10.00	S/. 10.00
	YESO PARA CONSTRUCCIÓN BOLSA X 18			
1.4	KG	1	S/. 12.60	S/. 12.60
1.5	TARAS METÁLICAS	12	S/. 4.00	S/. 48.00
1.6	AGUA DESTILADA	2	S/. 8.00	S/. 16.00
1.7	60 KG DE AFIRMADO	3	S/. 20.00	S/. 60.00
1.8	MATERIAL AFIRMADO DE CANTERAS	1	S/. 2,873.70	S/. 2,873.70
	GASTOS DE TRANSPORTE A LAS			
2.0	VISITAS A LAS ZONAS DE ESTUDIO			S/. 130.00
2.1	VISITA A LA ZONA 1	5	S/. 10.00	S/. 50.00
2.2	VISITA A LA CANTERA TRES TOMAS	1	S/. 20.00	S/. 20.00
2.3	VISITA A LA CANTERA LA VICTORIA	1	S/. 20.00	S/. 20.00
2.4	VISITA A LA ZONA 2	4	S/. 10.00	S/. 40.00
3.0	GASTOS EN SERVICIOS PARTICULARES			S/. 4,723.00
3.1	LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO (DÍAS)	1	S/. 153.00	S/. 153.00
3.2	IMPRESIONES (GLB)	20	S/. 18.00	S/. 360.00
3.3	VIÁTICOS (GLB)	2	S/. 150.00	S/. 300.00
3.4	ALQUILER DEL TERRENO (GLB)	1	S/. 300.00	S/. 300.00

ALQUILER DE MAQUINARIA PESADA				
3.5	(GLB)	1	S/. 2,200.00	S/. 2,200.00
ALQUILER DE EQUIPOS DE DENSIDAD DE				
3.6	CAMPO (GLB)	8	S/. 95.00	S/. 760.00
ASESORAMIENTO TÉCNICO –				
3.7	PROFESIONAL (GLB)	1	S/. 650.00	S/. 650.00
GASTOS DE ENSAYOS REALIZADOS EN				
4.0	LABORATORIO			S/. 2,190.00
4.1	CONTENIDO DE HUMEDAD	7	S/. 10.00	S/. 70.00
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR				
4.2	TAMIZADO	7	S/. 30.00	S/. 210.00
4.3	LÍMITES DE CONSISTENCIA	14	S/. 20.00	S/. 280.00
4.4	PROCTOR MODIFICADO	5	S/. 80.00	S/. 400.00
4.5	DENSIDAD DE CAMPO	41	S/. 30.00	S/. 1,230.00
4.6	INVESTIGADORES	1	S/. 2,245.76	S/. 2,245.76
TOTAL				12,358.06
COSTO RESPALDADO POR LA UNIVERSIDAD USS				18 %
COSTO RESPALDADO POR INVESTIGADORES				82%

Fuente: Elaboración propia, 2018.

1.7.3. Estado del arte.

Los equipos para aplicar la energía específica, se emplean según a la disponibilidad del ambiente como podría ser rodillos lisos, rodillos con neumáticos u otros equipos aprobados y que sirven para llegar al resultado apropiado.

Se utiliza el ensayo de densidad de campo para saber el óptimo grado de compactación de la base de afirmado, generalmente se realiza con el cono de arena. Hoy en día se emplea el densímetro nuclear como dispositivo de control de compactación y medición del grado de compactación en campo que da resultados confiables en cuestión de segundos, los encargados de su uso son personas capacitadas y autorizadas por alguna autoridad competente debido a su alto nivel radioactivo.

En un artículo publicado por el consultor Oswaldo Chávez de la Universidad de Washington, Estados Unidos, recomienda el uso del llamado Penetrómetro Dinámico de Cono (DCP) en “la evaluación de los espesores de capas de pavimentos y su contribución estructural”. Ésta tecnología ha sido reconocida por la ASTM, que es una organización norteamericana para ensayos de materiales, y por el boletín de la Universidad de California en Berkeley. El DCP se utiliza para medir la resistencia de la base y sub base de los pavimentos, consiste en un cono de acero de 20 milímetros de diámetro, que se introduce en el pavimento a base de golpes con un martillo y se registra la penetración por golpes, para luego medir el grado de compactación a través del uso de ecuaciones de correlación.

Según el consultor Chávez existe una prueba que en tres meses de aplicación puede determinar la resistencia que tendrá la carretera en un determinado tiempo e incluso a 20 años y fue inventada por los sudafricanos que se llama Heavy Vehicle Simulador (HVS), que es una máquina muy pesada.

1.7.4. Definición de términos.

Agregados: Son materiales de construcción geológicos, así se tiene; la arena, la piedra y la grava. Se emplean en todas las formas de construcción, y se pueden aprovechar en su estado natural o bien triturarse y convertirse en fragmentos más pequeños.

Cantera: Lugar de donde se extraen los materiales que se encuentran a la intemperie de manera natural o artificialmente, como pueden ser rocas industriales, ornamentales o áridas.

Sub Base: Cumple la función de transición entre la base y la subrasante, esto se debe a que el material de la sub base es más fino que el de la base que es granular o más o menos grueso, por lo que sirve como un filtro evitando que el material de la base ingrese en la subrasante. Esta capa también absorbe las deformaciones provenientes de la subrasante y que podrían ser perjudiciales, y por último la sub base puede servir como drenaje para evacuar el agua que se infiltre y para privar la ascensión capilar de agua de terracería hacia la base.

Base: Tiene como función primordial proporcionar una capa o elemento que resista y transmita esfuerzos que se generan por el tránsito, en una intensidad adecuada hacia la sub base y subrasante. Otras funciones que cumple la base es de reducir el espesor de la carpeta, en ocasiones trabaja como sub base, esto debido a la doble función de drenaje que tiene.

En un pavimento flexible el material de la base debe ser friccionante y provisto de vacíos con una compactación de calidad.

Subrasante: Es una parte importante de la carretera y trabaja como sostén de las capas del pavimento, para esto debe satisfacer varias cualidades estructurales, de tal manera que al colocarse agregados seleccionados sobre ésta, se acomoden tanto en espesores uniformes como mostrando una resistencia homogénea en toda su superficie. Esta capa en algunos casos está constituida solo por la superficie del terreno. Cuando el material extraído del lugar en estado natural es de calidad muy baja, se hará un procedimiento para su mejoramiento, estabilización y compactación adecuada.

Rodillado: Es la presión ejercida al material de cantera que se encuentra distribuida uniformemente sobre una determina superficie, aplicando una energía adecuada para el reacomodo de las partículas del material distribuido para eliminar los vacíos que tiene aire atrapado o contenidos mínimos de agua.

Vía: Es un sistema de transporte o comunicación destinado al paso de personas o vehículos de un lugar a otro.

Correlación: Consiste básicamente en analizar la relación recíproca entre dos o más acciones o fenómenos opuestos por un mismo rasgo distintivo. Como resultado debe indicar la fuerza y la dirección de la relación.

Base Granular: Es una capa que va en la parte superior de la subbase o de la subrasante y forma parte de la estructura del pavimento, es de material seleccionado, en algunos casos podría ser de mezcla asfáltica o con tratamientos según diseños.

II. MATERIAL Y MÉTODOS

II. MATERIAL Y MÉTODOS

2.1. Tipo y Diseño de la Investigación

2.1.1. Tipo de investigación.

Es del tipo investigación cuantitativa ya que se realizaron cálculos para tratar de lograr la máxima objetividad de los resultados.

2.1.2. Diseño de investigación.

El diseño de investigación es cuasi-experimental porque se tomó muestras para realizar una serie de ensayos en laboratorio, con el fin de obtener datos que ayude en el estudio.

2.2. Métodos de Investigación

2.2.1. Analítico

Se empleó este método ya que se inició con la identificación de todos los componentes que se utilizó, a si se tiene; el tipo de maquinaria, material, y ensayos correspondientes.

2.2.2. Sintético

Se usó este método ya que en ésta investigación se derivó de lo simple a lo complejo, de la parte al todo, de la causa a los efectos, de los principios a las consecuencias.

2.2.3. Deductivo

Después de haber definido la variable independiente y dependiente, con sus respectivos indicadores, se tuvo que inferir la hipótesis para un adecuado estudio de cuantos serán los ciclos necesarios del rodillo por efecto del óptimo grado de compactación para establecer las respectivas tablas.

2.2.4. Inductivo

En dicha investigación después de haber obtenido con éxito los resultados del proceso de los ensayos en laboratorio procederemos a la determinación del número de ciclos patrón.

2.2.5. Experimental

También se usó este método porque se realizó la práctica de prueba y contraprueba con el fin de obtener resultados, donde se buscó variar los parámetros que todavía no han sido establecidos oficialmente como nuevos datos, y así puedan aplicarse a determinadas situaciones.

2.3. Población y Muestra

Esta investigación estuvo de acuerdo a los datos y características técnicas propias de las canteras en el departamento de Lambayeque. Es por ello que se identificó cual será la población y muestra de estudio.

2.3.1. Población

Cantera Tres Tomas y la Victoria.

2.3.2. Muestra

60 kilogramos de afirmado extraído de la cantera Tres Tomas y la Victoria.

2.4. Variables y Operacionalización

2.4.1. Variables

2.4.1.1. Variable independiente.

Afirmado

2.4.1.2. Variable Dependiente

Número de ciclos

2.4.2. Operacionalización

Tabla 6

Variable independiente.

Variable	Dimensiones	Indicadores	Sub Indicadores	Índices	Técnicas	Instrumentos de recolección de datos	Instrumentos de medición
Independiente			Indicadores				
		Tamaño de partículas	Tamizado	mm	Observación	Guías de Observación	Juego de Tamices
	Propiedades Físicas		Líquido Plástico	%	Observación	Guías de Observación	Copa Casa Grande,
		Plasticidad		%	Observación	Guías de Observación	Vidrio Esmeril.
AFIRMADO		Máx.	-	Kg/cm ³	Observación	Guías de Observación	Horno, Balanza,
		Densidad Seca			Observación	Guías de Observación	Pisón, Molde
	Propiedades Mecánicas		Óptimo				Proctor.
		Contenido de Humedad	Humedad	%	Observación	Guías de Observación	Horno, Balanza.
			Humedad				

Fuente: Elaboración propia, 2018.

Tabla 7*Variable dependiente.*

Variable	Dimensiones	Indicadores	Sub	Índices	Técnicas	Instrumentos de recolección de datos	Instrumentos de Medición
Dependiente				Indicadores			
	Características Físicas	Peso del Rodillo	Peso	tn	Análisis de documentos.	Análisis de documentos	Manual del equipo.
			Peso vol.	gr/cm ³	Observación	Guía de observación	Balanza
		Grado de compactación	Seco				
			Peso vol.	gr/cm ³	Observación	Guía de observación	Balanza
	Características		Máx.				
NÚMERO DE CICLOS	Mecánicas	Rendimiento	Velocidad	km/hr	Observación	Guía de observación	Marcador del equipo.
			Eficiencia	Adim.	Observación	Guía de observación	Coeficiente
	Características Químicas	Contenido de Humedad	Humedad	%	Observación	Guía de observación	Speedy
		Humedad					

Fuente: Elaboración propia, 2018.

2.5. Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos

2.5.1. Técnicas de recolección de datos.

2.5.1.1. Observación.

Se empleó esta técnica de una manera minuciosa para obtener los datos y características tanto en campo como en laboratorio.

2.5.1.2. Análisis documental.

Esta técnica ayudo a tener en cuenta libros, tesis, revistas, artículos de investigación, tablas, etc., que están relacionados con la presente investigación y que son de mucha importancia ya que brindaron información indispensable para poder lograr el éxito del proyecto.

2.5.1.3. Visita a campo.

Consistió en visitar proyectos de carreteras en ejecución, donde se permitió realizar los ensayos de densidad de campo utilizando métodos como el Cono de Arena, con un estricto control del contenido de humedad, efectividad de la maquinaria, material dentro de lo especificado en la norma.

2.5.1.4. Ensayos de laboratorio.

Para el procedimiento de los datos también se realizó ensayos en el laboratorio de Mecánica de Suelos de la presente casa de estudios, para el óptimo grado de compactación se empleó el Proctor Modificado. Los métodos mencionados se investigaron y evaluaron de acuerdo a su función y confiabilidad de sus resultados.

2.5.2. Instrumentos de recolección de datos.

2.5.2.1. Guía de observación.

Se utilizó como guía de observación formatos elaborados en el programa Microsoft Excel que se requirió para recoger y procesar los datos durante los

ensayos del laboratorio, se observaron los resultados y se dio paso a realizar las respectivas tablas.

2.5.2.2. *Guía de análisis documental.*

Este instrumento fue muy importante, que radico en gran parte la información recopilada en la presente investigación, uno de los documentos que se utilizó durante todo el desarrollo de la investigación fue la normativa del MTC que ha establecido los métodos adecuados para llevar a cabo los ensayos realizados en el laboratorio.

2.6. Validación y Confiabilidad de Instrumentos

2.6.1. Validación de instrumentos.

Con la aplicación de los formatos y los instrumentos debidamente calibrados y actualizados se realizó una recolección de datos con veracidad, confiabilidad, bajo ninguna circunstancia se adulteró los datos obtenidos como resultados. Ya que en un futuro la información contenida en este informe podrá ser usada por otros profesionales e investigadores interesados.

Los equipos e instrumentos están respaldados por el laboratorio de mecánica de suelos y rocas de la universidad Señor de Sipán, donde se adjunta en la sección de anexos de esta investigación, se da a conocer las normativas, procedimientos, certificados de los equipos y formatos. La evaluación de los ensayos en campo y laboratorio de la investigación de acuerdo con las normativas, para validar respectivos resultados.

2.6.2. Confiabilidad de instrumentos.

Por medio de la aplicación de los ensayos se obtuvo resultados en función de las características que presento el material, los resultados de nuestros ensayos son confiables porque son reales, propios de las canteras mencionadas anteriormente. Ya que los procesos de los ensayos de calidad se realizaron con la ayuda de los equipos correctos en el laboratorio de mecánica de suelos de la respectiva casa de estudios ver anexos formatos de ensayos de mecánica de suelos y rocas de la universidad Señor de Sipán.

III. RESULTADOS

III. RESULTADOS

3.1. Extracción del Afirmado en Canteras Representativas de la Región Lambayeque

3.1.1. Técnica de muestreo.

A este procedimiento se le llama muestreo de material, consistió en extraer con la ayuda de una palana afirmado de dos puntos diferentes de la cantera seleccionada, la cantidad de 60 kg de material de afirmado seleccionado por cada punto para luego ser vaciado dicha cantidad por punto en un saco, luego se llevó al laboratorio de Mecánica de Suelos de la Universidad Señor de Sipán, donde se realizó los respectivos ensayos de laboratorio para ver si es de buena calidad como para ser utilizado en la construcción de carreteras (VER ANEXO N°02).

3.1.2. Extracción del afirmado de la cantera Tres Tomas.

Se extrajo material de la cantera Tres Tomas ubicada en el distrito de Mesones Muro, Provincia de Ferreñafe, Departamento de Lambayeque, ubicada a una hora y media de la ciudad de Chiclayo, se extrajo el material de dos puntos distanciados aproximadamente a 100 m con sus respectivas coordenadas (VER ANEXO N°01):

Punto 1: X= 0642397; Y = 9267149 (Zona 1)

Punto 2: X= 0642381; Y = 9267099 (Zona 2)



Figura 12. Coordenadas del punto 01 – Zona 1.

Fuente: Elaboración propia, 2017.



Figura 13. Coordenadas del punto 02 – Zona 2.

Fuente: Elaboración propia, 2018.

3.1.3. Extracción del afirmado de la cantera La Victoria.

Se extrajo material de la cantera La Victoria ubicada en el distrito de Pátapo, provincia de Chiclayo, departamento de Lambayeque, ubicada a una hora de la ciudad de Chiclayo. Se extrajo el material de dos puntos distanciados aproximadamente a 100 metros con sus respectivas coordenadas (VER ANEXO N°1).

X= 0655751; Y = 9258709



Figura 14. Coordenadas UTM – La Victoria.

Fuente: Elaboración propia, 2018.

3.2. Estudio de Mecánica de Suelos

3.2.1. Análisis granulométrico de suelos por tamizado (ASTM D-422 – MTC E 107).

A. Descripción

Por las características del material se procedió a realizar este ensayo, con parte de ella, se realizó un proceso de lavado y secado.

Este ensayo consiste en tener el material seco a 110°C, tamizados por las mallas N°4 y N°200 para gravas y finos respectivamente.

El lavado para limos y arcillas se realizó con el tamiz N°200 y para gravas que se encuentran impregnadas por finos con el tamiz N°4. Para la obtención de la muestra de la fracción fina se realiza método del cuarteo hasta obtener una porción representativa y suficiente.

Se da el método de lavado cuando las partículas no se fracturan frágilmente, por la cual se procede a ejecutar por el método húmedo.

Se da el método seco cuando las partículas se fracturan con facilidad en un estado natural.

Pesando por sus diferentes diámetros, para luego llenar un cuadro y graficar una curva granulométrica en una escala logarítmica, donde se observará la gradación de los tamaños de las partículas que conforman el afirmado en función de la forma de la curva.

B. Resultados

Tabla 8

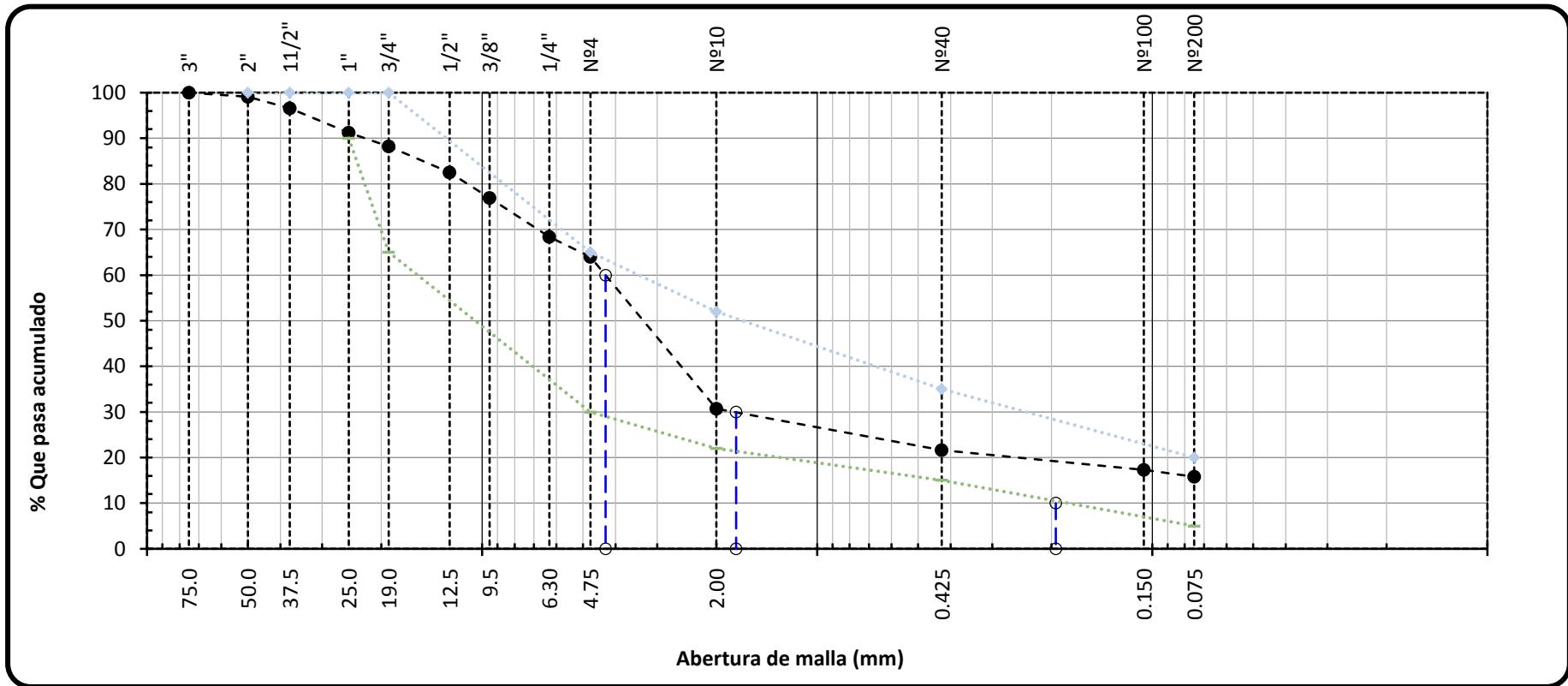
Granulometría de la cantera Tres Tomas - Zona 1.

TAMICES		PESO	% RETENIDO	% RETENIDO	% QUE PASA	ESPECIFICACIONES	
(Pul)	(mm)	RETENIDO	PARCIAL	ACUMULADO		MTC	
3"	75.000	0.0	0.0	0.0	100.0		
2 1/2"	63.000	0.0	0.0	0.0	100.0		
2"	50.000	187.00	0.9	0.9	99.1	100	
1 1/2"	37.500	490.00	2.5	3.4	96.6	100	
1"	25.000	1083.00	5.4	8.8	91.2	90	100
3/4"	19.000	603.00	3.0	11.8	88.2	65	100
1/2"	12.500	1148.00	5.7	17.5	82.5		
3/8"	9.500	1128.00	5.6	23.1	76.9		
1/4"	6.300	1697.00	8.5	31.6	68.4		
Nº4	4.750	886.00	4.4	36.0	64.0	30	65
Nº10	2.000	354.25	33.3	69.3	30.7	22	52
Nº20	0.850	46.64	4.4	73.7	26.3		
Nº40	0.425	49.80	4.7	78.4	21.6	15	35
Nº60	0.250	26.42	2.5	80.9	19.1		
Nº140	0.106	18.76	1.8	82.7	17.3		
Nº200	0.075	16.00	1.5	84.2	15.8	5	20
< N° 200	FONDO	168.13	15.8	100.0	0.0		

Fuente: Elaboración propia, 2017.

En la tabla 8, se da a conocer los datos obtenidos en el proceso del tamizado por lavado como son el tamaño de las partículas en función a los pesos retenidos en cada malla, obteniendo un 36% de grava, 48.2% de arenas y de material fino un 15.8%, dando como resultado un material tipo SC – SM que da origen a arenas limo arcillosas con presencia de gravas.

Figura 15. Curva Granulométrica de la cantera Tres Tomas – Zona 1.



Fuente: Elaboración propia, 2017.

Se observa la distribución de los tamaños de las partículas en función de su diámetro y los porcentajes acumulados que pasa, dicha distribución se representa en una curva granulométrica que se encuentra dentro del rango establecido según la norma. Se aprecia que en la malla de 1" y la N°4 está al límite de lo establecido.

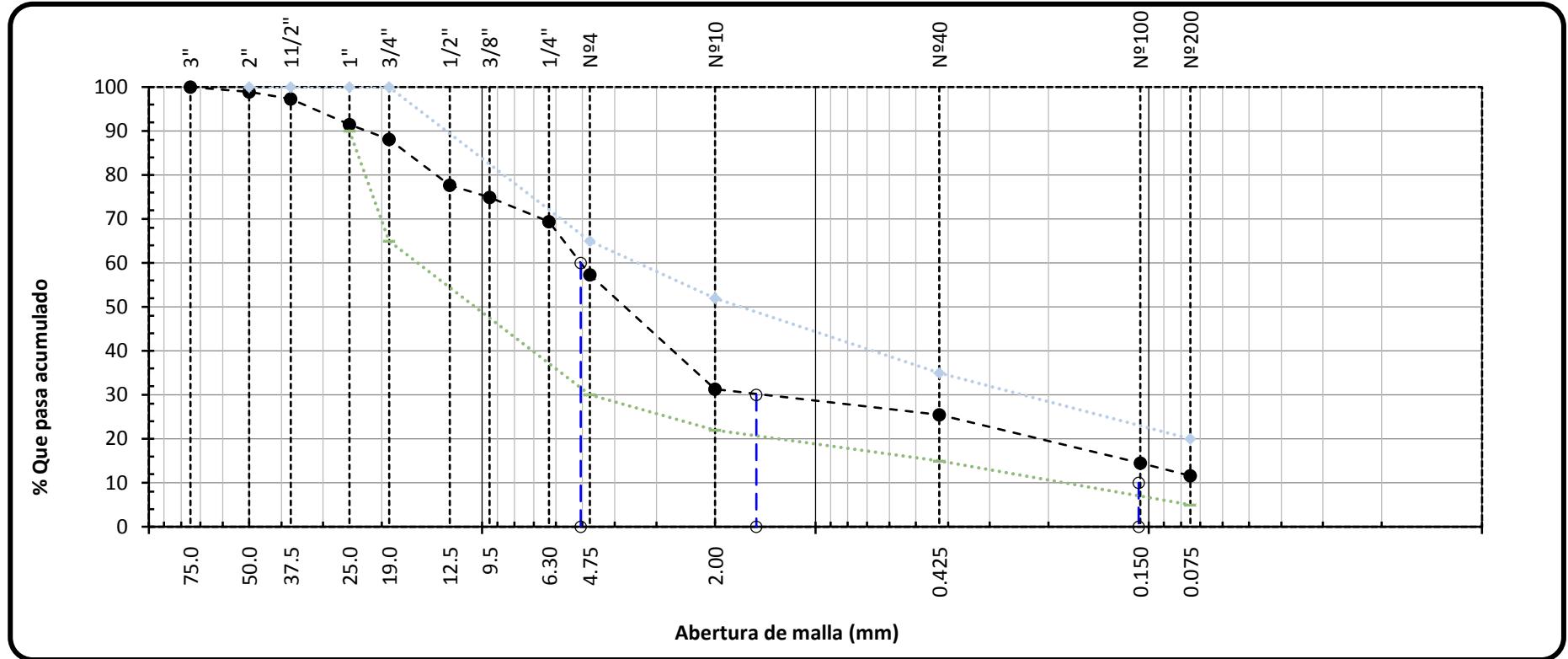
Tabla 9*Granulometría de la cantera Tres Tomas – Zona 2.*

TAMICES		PESO	% RETENIDO	% RETENIDO	% QUE PASA	ESPECIFICACIONES	
(Pul)	(mm)	REtenido	PARCIAL	ACUMULADO		MTC	
3"	75.000	0.0	0.0	0.0	100.0		
2 1/2"	63.000	0.0	0.0	0.0	100.0		
2"	50.000	223.00	1.1	1.1	98.9	100	
1 1/2"	37.500	327.00	1.6	2.7	97.3	100	
1"	25.000	1167.00	5.8	8.5	91.5	90	100
3/4"	19.000	678.00	3.4	11.9	88.1	65	100
1/2"	12.500	2089.00	10.4	22.3	77.7		
3/8"	9.500	568.00	2.8	25.1	74.9		
1/4"	6.300	1092.00	5.5	30.6	69.4		
Nº4	4.750	2423.00	12.1	42.7	57.3	30	65
Nº10	2.000	308.00	26.0	68.7	31.3	22	52
Nº20	0.850	46.00	3.9	72.6	27.4		
Nº40	0.425	23.00	1.9	74.5	25.5	15	35
Nº60	0.250	75.00	6.3	80.8	19.2		
Nº140	0.106	56.00	4.7	85.5	14.5		
Nº200	0.075	34.00	2.9	88.4	11.6	5	20
< N° 200	FONDO	138.00	11.6	100.0	0.0		

Fuente: Elaboración propia, 2018.

En la tabla 9, se da a conocer los datos obtenidos en el proceso del tamizado por lavado como son el tamaño de las partículas en función a los pesos retenidos en cada malla, obteniendo un 42.7% de grava, 45.7% de arenas y de material fino un 11.6%, dando como resultado un material tipo SP – SC que da origen a arenas pobremente graduadas con presencia de arcilla y gravas.

Figura 16. Curva Granulométrica de la cantera Tres Tomas – Zona 2.



Fuente: Elaboración propia, 2018.

Se observa la distribución de los tamaños de las partículas en función de su diámetro y los porcentajes acumulados que pasa, dicha distribución se representa en una curva granulométrica que se encuentra dentro del rango establecido según la norma. Se aprecia que en la malla de 1" y la ¼" está al límite de lo establecido.

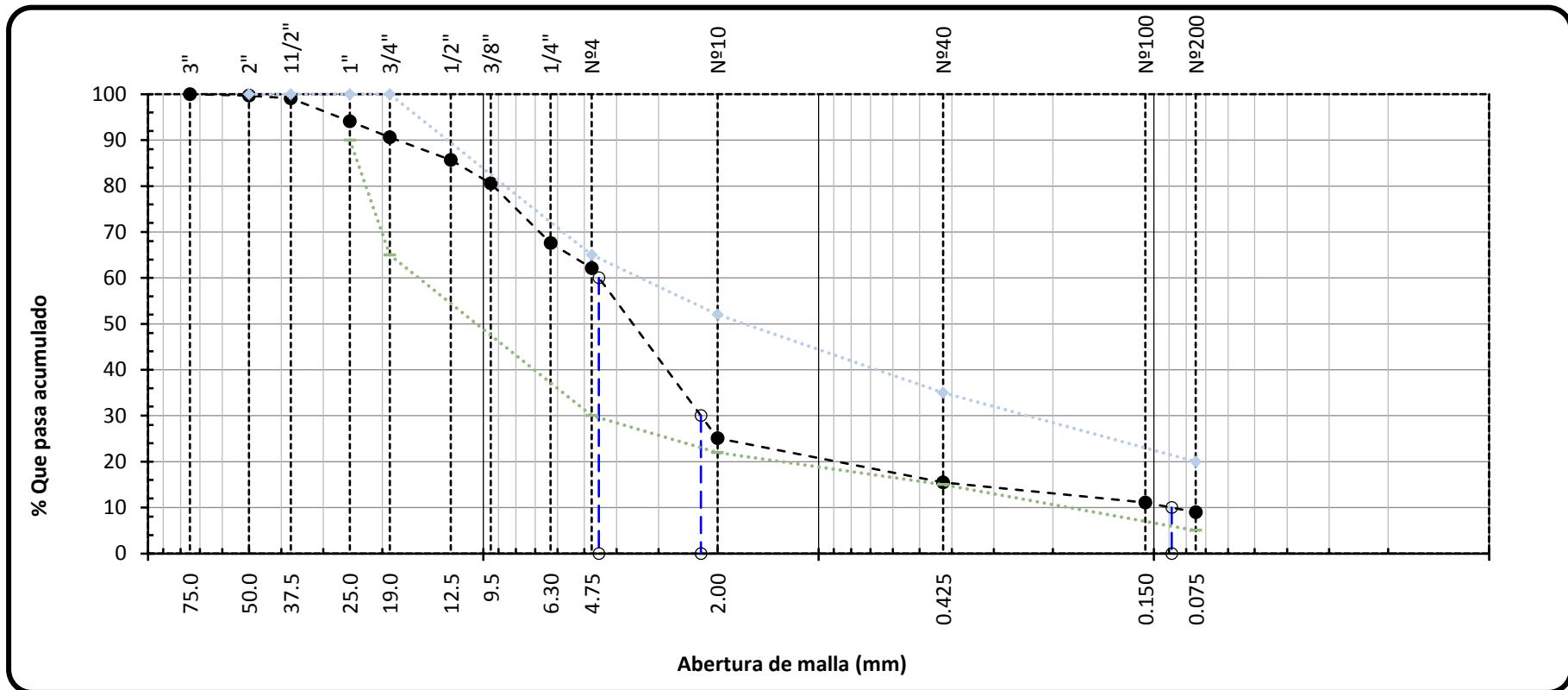
Tabla 10*Granulometría de la cantera La Victoria-Zona 2.*

TAMICES		PESO	% RETENIDO	% RETENIDO	% QUE PASA	ESPECIFICACIONES	
(Pul)	(mm)	REtenido	PARCIAL	ACUMULADO		MTC	
3"	75.000	0.0	0.0	0.0	100.0		
2 1/2"	63.000	0.0	0.0	0.0	100.0		
2"	50.000	68.00	0.3	0.3	99.7	100	
1 1/2"	37.500	123.60	0.6	0.9	99.1	100	
1"	25.000	998.70	5.0	5.9	94.1	90	100
3/4"	19.000	702.90	3.5	9.4	90.6	65	100
1/2"	12.500	980.45	4.9	14.3	85.7		
3/8"	9.500	1012.15	5.1	19.4	80.6		
1/4"	6.300	2608.20	13.0	32.4	67.6		
Nº4	4.750	1091.50	5.5	37.9	62.1	30	65
Nº10	2.000	405.60	37.0	74.9	25.1	22	52
Nº20	0.850	61.20	5.6	80.5	19.5		
Nº40	0.425	43.83	4.0	84.5	15.5	15	35
Nº60	0.250	32.78	3.0	87.5	12.5		
Nº140	0.106	14.91	1.4	88.9	11.1		
Nº200	0.075	23.00	2.1	91.0	9.0	5	20
< N° 200	FONDO	98.68	9.0	100.0	0.0		

Fuente: Elaboración propia, 2018.

En la tabla 10, se da a conocer los datos obtenidos en el proceso del tamizado por lavado como son el tamaño de las partículas en función a los pesos retenidos en cada malla, obteniendo un 37.9% de grava, 53.1% de arenas y de material fino un 9%, dando como resultado un material tipo SP – SC que da origen a arenas pobremente graduadas con presencia de arcilla y gravas.

Figura 17. Curva Granulométrica de la cantera La Victoria – Zona 2.



Fuente: Elaboración propia, 2018.

Se observa la distribución de los tamaños de las partículas en función de su diámetro y los porcentajes acumulados que pasa, dicha distribución se representa en una curva granulométrica que se encuentra dentro del rango establecido según la norma. Se aprecia que en la malla de 3/8" y la N°40 está al límite de lo establecido.

3.2.2. Límites de consistencia de Atterberg.

A. Descripción

Para el presente proyecto se tuvo en cuenta dos límites de consistencia investigados por este personaje Albert Atterberg, que son el límite líquido y el límite plástico.

B. Resultados

Tabla 11

Límites de la cantera Tres Tomas – Zona 1.

DATOS DE ENSAYO	LÍMITE LÍQUIDO			LÍMITE PLÁSTICO
Nº de tarro	1	2	3	P-1
Nº de golpes	18	23	26	
Tarro + s. húmedo g	26.05	29.95	34.76	18.69
Tarro + s. seco g	22.82	26.58	30.26	17.38
Agua	3.23	3.37	4.5	1.31
Peso del tarro g	8.95	11.14	8.85	8.90
Peso del s. seco g	13.87	15.44	21.41	8.48
% de humedad	23.29	21.83	21.02	15.45

Fuente: Elaboración propia, 2017.

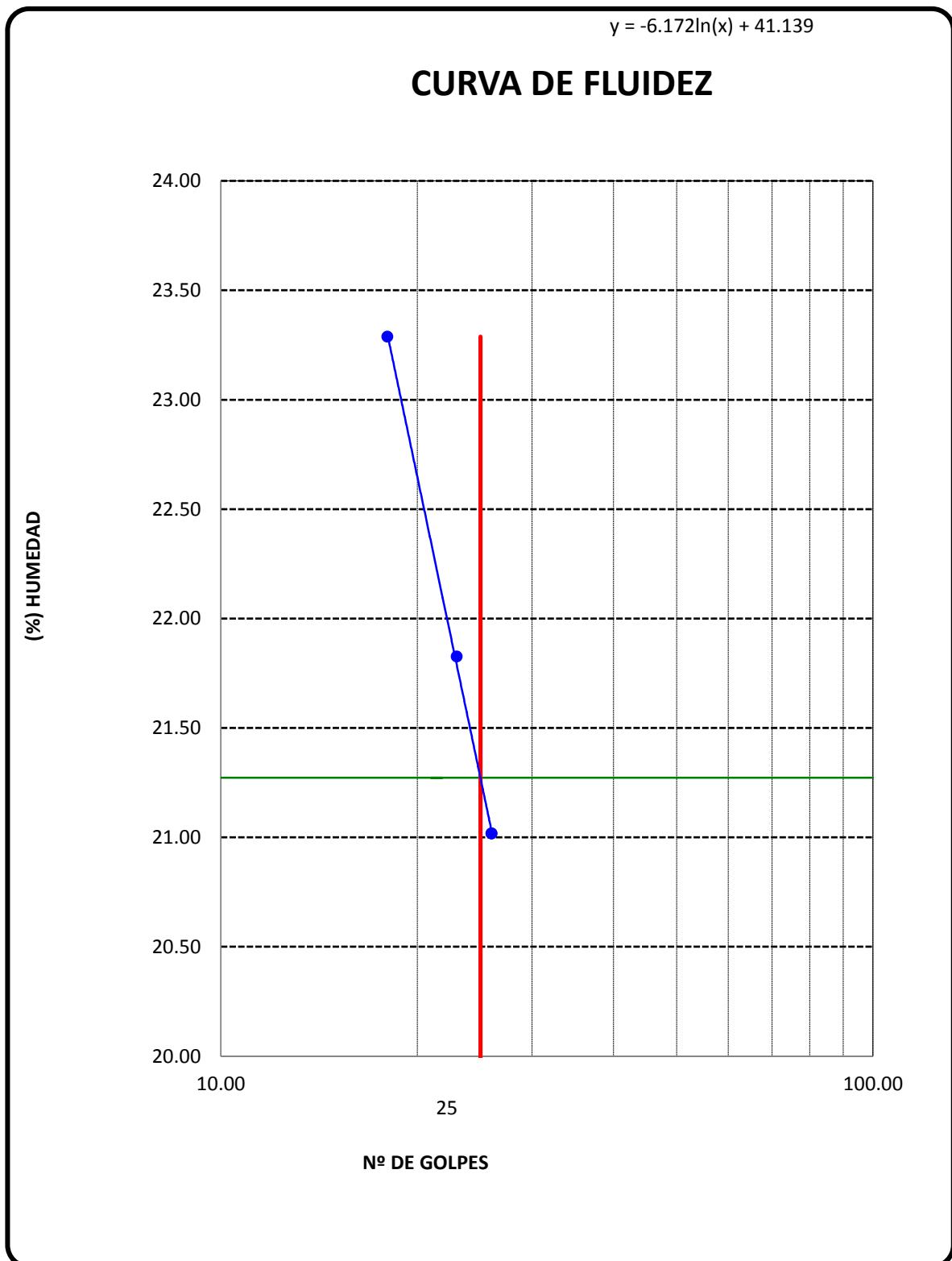
Tabla 12

Consistencia física de la muestra de la cantera Tres Tomas – Zona 1.

CONSISTENCIA FÍSICA DE LA MUESTRA	
Límite Líquido %	21.27
Límite Plástico %	15.45
Índice de Plasticidad	5.83
Clasificación (S.U.C.S)	SC-SM
Clasificación (AASHTO)	A-1-a- (0)

Fuente: Elaboración propia, 2017.

Figura 18. Gráfica del límite líquido de la cantera Tres Tomas – Zona1.



Fuente: Elaboración propia, 2017.

Tabla 13

Límites de la cantera Tres Tomas – Zona 2.

DATOS DE ENSAYO	LÍMITE LÍQUIDO			LÍMITE PLÁSTICO
N° de tarro	1	2	3	P-1
N° de golpes	17	21	29	
Tarro + s. húmedo g	33.85	21.57	34.34	22.64
Tarro + s. seco g	30.13	19.78	30.84	21.45
Agua	3.72	1.79	3.5	1.19
Peso del tarro g	12.45	10.52	8.9	8.92
Peso del s. seco g	17.68	9.26	21.94	12.53
% de humedad	21.04	19.33	15.95	9.50

Fuente: Elaboración propia, 2018.

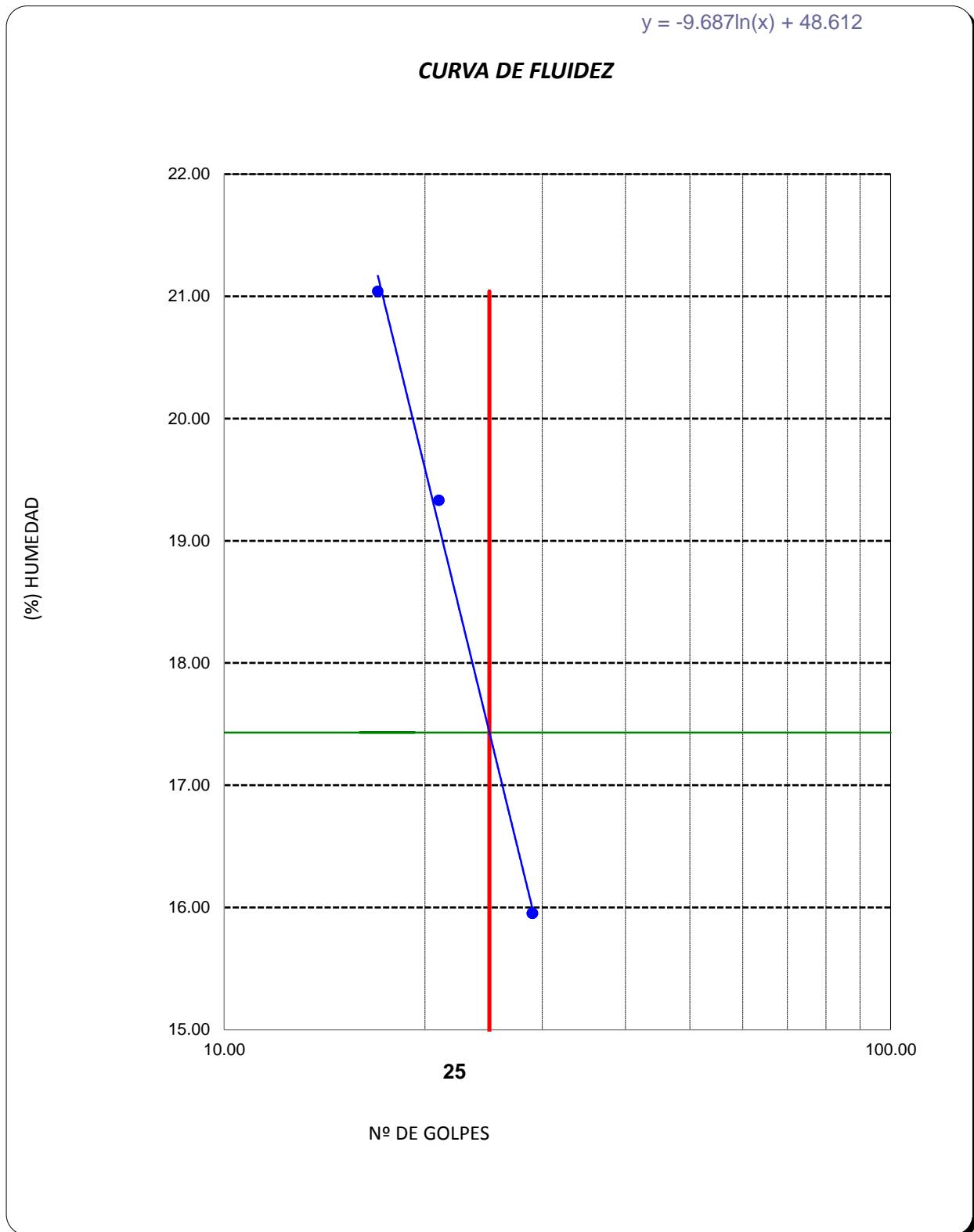
Tabla 14

Consistencia física de la muestra de la cantera Tres Tomas – Zona 2.

CONSISTENCIA FÍSICA DE LA MUESTRA	
Límite Líquido %	17.43
Límite Plástico %	9.50
Índice de Plasticidad	7.93
Clasificación (S.U.C.S)	SP-SC
Clasificación (AASHTO)	A-2-4- (0)

Fuente: Elaboración propia, 2018.

Figura 19. Gráfica del límite líquido de la cantera Tres Tomas – Zona 2.



Fuente: Elaboración propia, 2018.

Tabla 15

Límites de la cantera La Victoria – Zona 2.

DATOS DE ENSAYO	LÍMITE LÍQUIDO	LÍMITE PLÁSTICO	
N° de tarro	1	2	3
N° de golpes	19	22	27
Tarro + s. húmedo g	31.25	23.34	24.78
Tarro + s. seco g	26.93	21.15	22
Agua	4.32	2.19	2.78
Peso del tarro g	8.89	11.37	7.39
Peso del s. seco g	18.04	9.78	14.61
% de humedad	23.95	22.39	19.03
			P-1

Fuente: Elaboración propia, 2018.

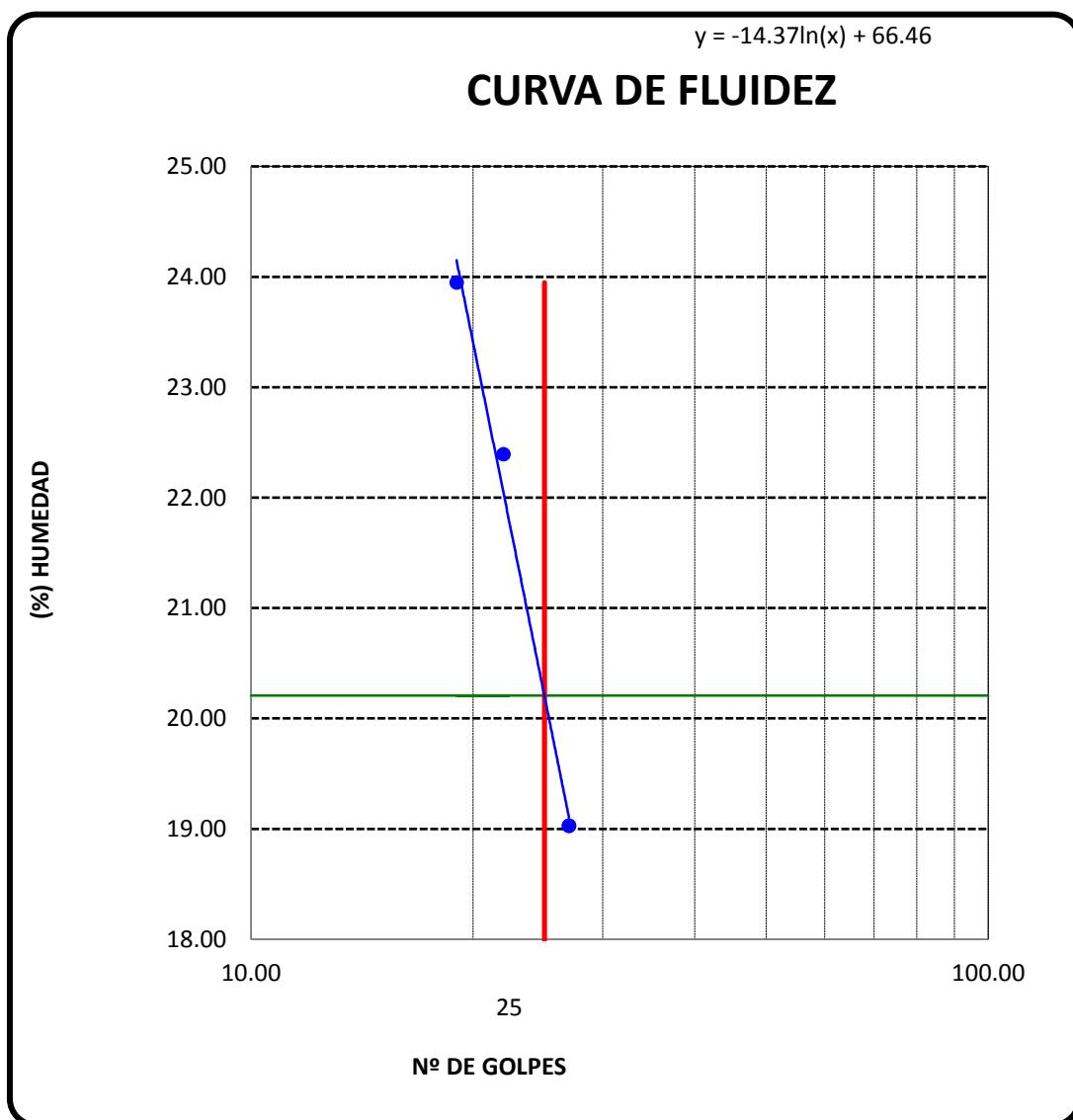
Tabla 16

Consistencia física de la muestra de la cantera La Victoria – Zona 2.

CONSISTENCIA FÍSICA DE LA MUESTRA	
Límite Líquido %	20.21
Límite Plástico %	12.19
Índice de Plasticidad	8.01
Clasificación (S.U.C.S)	SP-SC
Clasificación (AASHTO)	A-2-4- (0)

Fuente: Elaboración propia, 2018.

Figura 20. Gráfica del límite líquido de la cantera La Victoria-Zona2.



Fuente: Elaboración propia, 2018.

En las tablas 10,12 y 14, se observa la cantidad de agua tanto en el límite líquido como en el límite plástico que representan directamente el contenido de humedad en función de su porcentaje determinado en cada muestra.

Las figuras 17, 18 y 19, muestran una curva de fluidez en un plano cartesiano el porcentaje de humedad de cada muestra en función al número de golpes del equipo Copa Casa Grande.

3.2.3. Densidad máxima (Proctor Modificado) (ASTM D-1557- MTC E 115).

A. Descripción

En el laboratorio de mecánica de suelos y rocas de la presente casa de estudios, se hizo llegar la muestra del material afirmado de la cantera Tres Tomas de las zonas 1 y 2, y material de la cantera La Victoria de la zona 2, mencionados anteriormente con sus respectivas coordenadas. Luego se realizó 2 Proctor por zona para cada cantera, que son los ensayos de máxima densidad seca utilizando el Proctor Modificado método C. Este ensayo consiste en determinar la relación de la humedad y la densidad seca del afirmado. Creando una gráfica con varios puntos de encuentro entre el porcentaje de humedad y el peso unitario seco, estos puntos dan forma a una curva donde se obtiene directamente de esta curva un punto máximo de densidad con su respectiva humectación.

A continuación mostramos los resultados de los ensayos Proctor 1 y 2 realizados en cuatro tandas por cada Proctor, compactadas en cinco capas cada Proctor en molde de 6" (152.4 mm) de diámetro. Utilizando un pisón de 10 lb (44.5 N) dejando caer libremente 56 veces por cada capa distribuida mente en el área del molde a una altura de 18" (457 mm), generando una energía de compactación de 56000 lb-pie/pie³ (2700 Kn-m/m³).

B. Método C

Menor al 30 % del retenido acumulado en la malla ¾"

Mayor al 20 % del retenido acumulado en la malla de 3/8"

C. Resultados

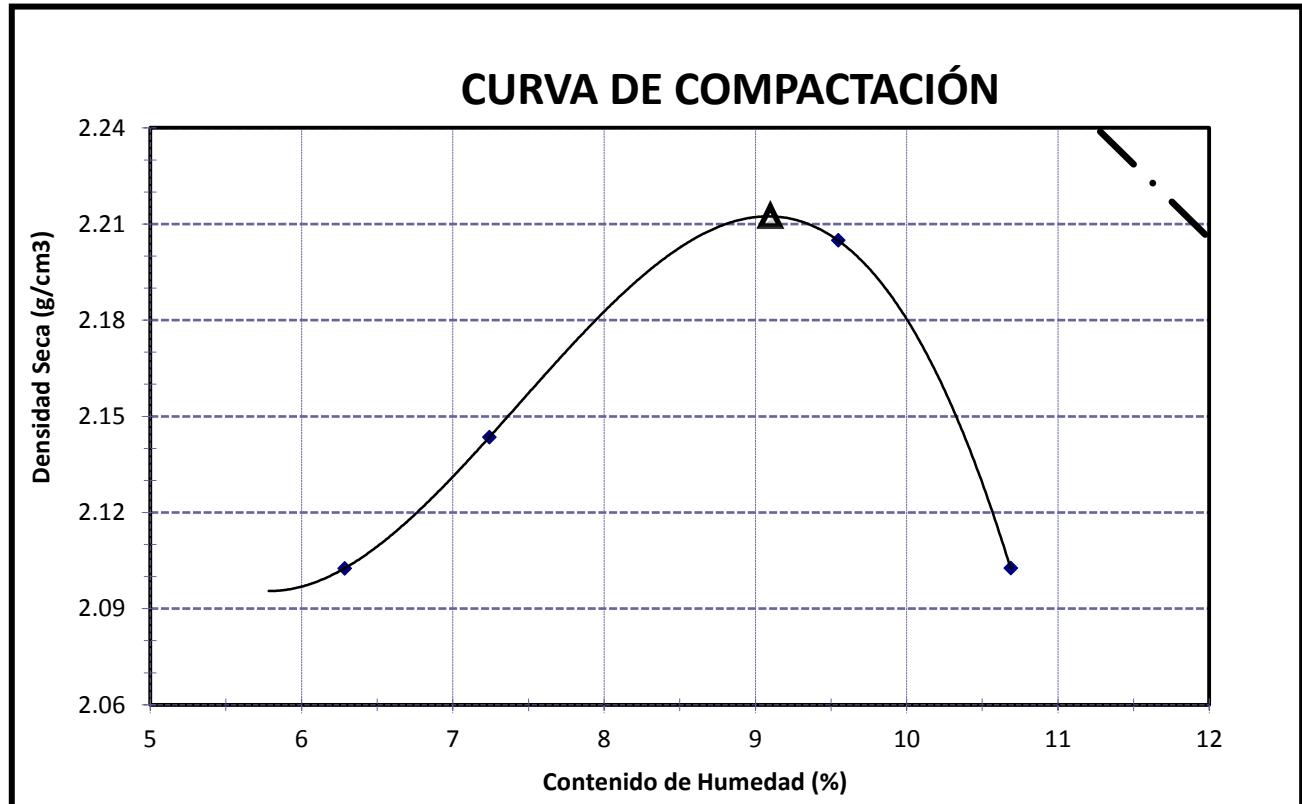
Tabla 17

Proctor de la cantera Tres Tomas-Zona 1.

RESULTADOS DEL PROCTOR MODIFICADO				
Contenido de humedad (%)	6.28	7.24	9.55	10.69
Densidad seca (gr/cm ³)	2.103	2.143	2.205	2.103
Máx. Densidad Seca (gr/cm ³)		2.212		
Óptimo contenido de humedad (%)		9.10		
Procedimiento utilizado		Húmedo		
Método de preparación		C		

Fuente: Elaboración propia, 2017.

Figura 21. Curva de compactación del Proctor de la Cantera Tres Tomas- Zona1.



Fuente: Elaboración propia, 2017.

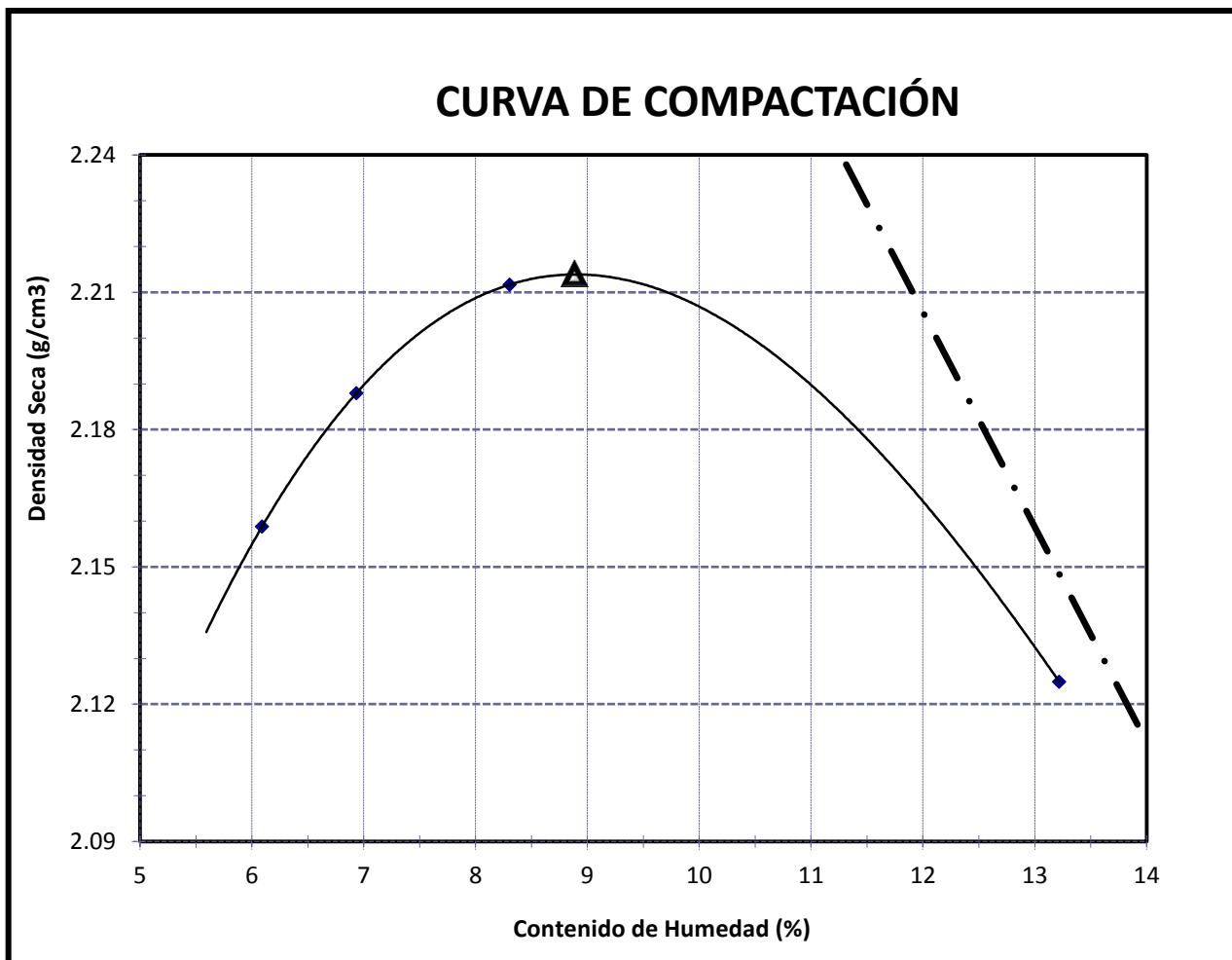
Tabla 18

Proctor de la cantera Tres Tomas-Zona 2.

RESULTADOS DEL PROCTOR MODIFICADO				
Contenido de humedad (%)	6.09	6.94	8.30	13.22
Densidad seca (gr/cm ³)	2.159	2.188	2.212	2.125
Máx. Densidad Seca (gr/cm ³)			2.214	
Óptimo contenido de humedad (%)			8.88	
Procedimiento utilizado			Húmedo	
Método de preparación			C	

Fuente: Elaboración propia, 2018.

Figura 22. Curva de compactación del Proctor de la Cantera Tres Tomas- Zona2.



Fuente: Elaboración propia, 2018.

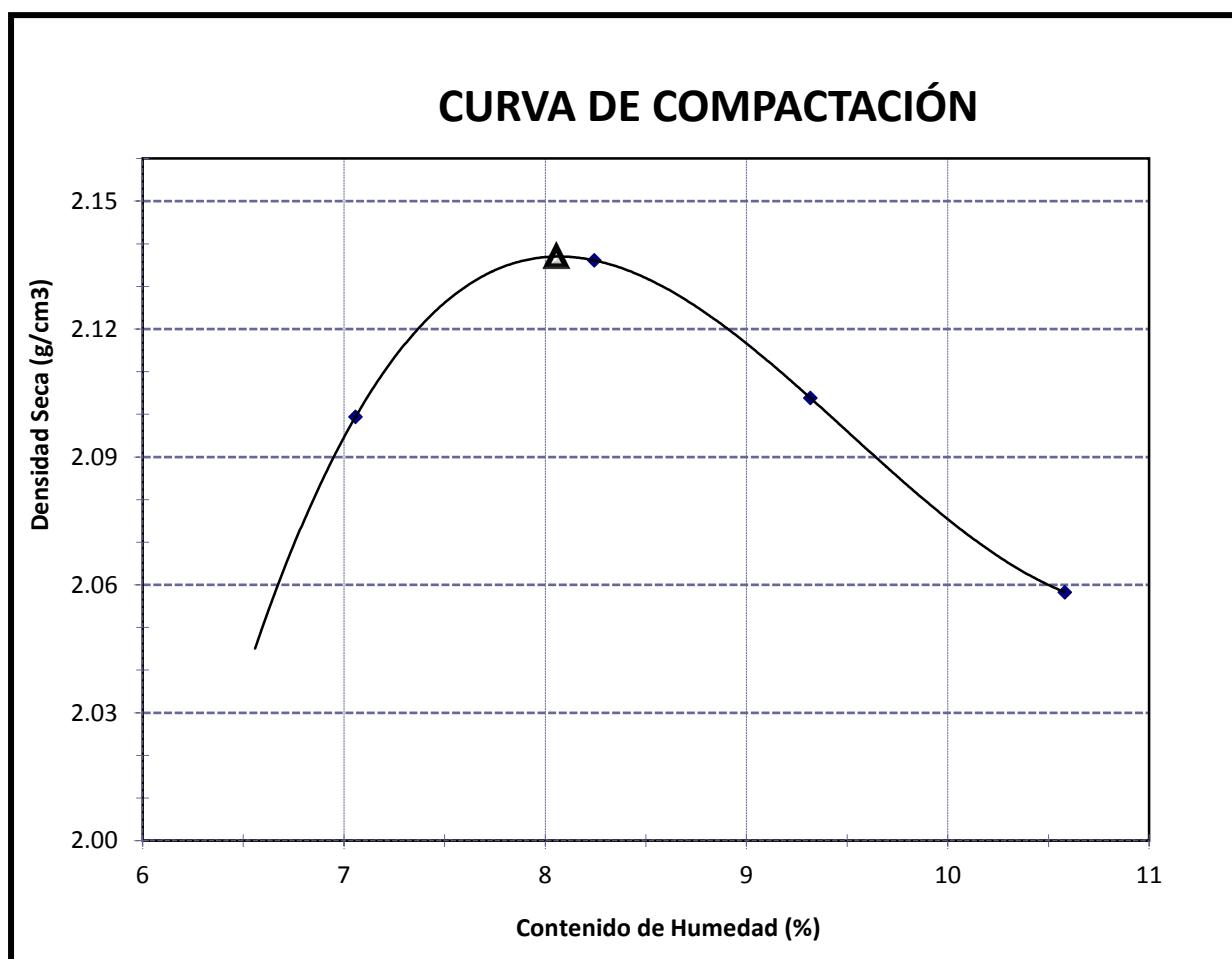
Tabla 19

Proctor de la cantera La Victoria-Zona 2.

RESULTADOS DEL PROCTOR MODIFICADO				
Contenido de humedad (%)	7.06	9.32	8.24	10.58
Densidad seca (gr/cm ³)	2.099	2.104	2.136	2.058
Máx. Densidad Seca (gr/cm ³)		2.137		
Óptimo contenido de humedad (%)		8.06		
Procedimiento utilizado		Húmedo		
Método de preparación		C		

Fuente: Elaboración propia, 2018.

Figura 23. Curva de compactación del Proctor de la Cantera La Victoria- Zona2.



Fuente: Elaboración propia, 2018.

De las tablas 16, 17 y 18, se muestran las densidades secas con sus respectivos contenidos de humedad de cada tanda realizados de cada Proctor.

En las figuras del 20, 21 y 22 se observa la curva de compactación donde se grafica el punto máximo de la curva que es la máxima densidad seca de cada Proctor realizado.

3.3. Densidad de Campo con el Método del Cono de Arena

3.3.1. Descripción

Este ensayo comprende a las dos zonas de estudio, ya que se necesita de un proyecto para cada espesor, que esté en ejecución y a nivel de base granular. Consiste en realizar ensayos al ritmo de número de ciclos del equipo compactador haga en la base de la carretera.

Para dichas canteras se tomó material de dos puntos, con la finalidad de obtener diferentes Proctor y resultados confiables.

Una vez obtenido las densidades óptimas para un Proctor 1 y 2 de las canteras, se procedió a realizar la compactación en dos tramos con sus respectivos ensayos de densidades de campo tomando como referencia el mayor de los Proctor obtenidos.

Finalmente se realizó las pruebas de densidad de campo (Anexo N° 09) en paralelo al número de ciclos de compactación que daba el rodillo a la base. El rodillo operó a una velocidad constante de 4 km/hr a los 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11 y 12 ciclos, arrojándonos las siguientes densidades de campo que se verán en los resultados.

Con el material granular de la cantera Tres Tomas se construyó tres terraplenes de espesores de 15, 20 y 25 cm., para el cual se realizó varios ensayos de densidad de campo utilizando el método del Cono de Arena y controlando una humedad de 8.9 % para el Proctor

correspondiente a dicha cantera, todo éste proceso se realizó en función de los números de ciclos que realizó el equipo compactador y se obtuvo las tablas 20, 21, 22, 23, 24 y 25 respectivamente.

3.3.2. Resultados

Tabla 20

Densidad de campo Tres Tomas-Zona1 ($e=15cm$).

Nº DE CICLOS	DENSIDAD DE CAMPO (gr/cm ³)	GRADO DE COMPACTACIÓN (%)
6	1.90	85.73
7	2.03	91.82
8	2.13	96.31
9	2.26	102.13

Humedad = 8.9 % , Velocidad máxima = 4.5 km/hr

Fuente: Elaboración propia, 2017.

En la tabla 20, se aprecia que para la cantera Tres Tomas con un espesor de 15 cm y con una humedad del 8.9 % se llega al 100 % de su compactación con 9 ciclos del rodillado.

Tabla 21

Densidad de campo Tres Tomas-Zona2 ($e=20cm$).

Nº DE CICLOS	DENSIDAD DE CAMPO (gr/cm ³)	GRADO DE COMPACTACIÓN (%)
6	1.81	81.95
7	1.95	88.29
8	2.09	94.58
9	2.19	98.89
10	2.26	102.13

Humedad = 8.9 %, Velocidad máxima = 3.5 km/hr

Fuente: Elaboración propia, 2018.

En la tabla 21, se aprecia que para la cantera Tres Tomas con un espesor de 20 cm y con una humedad del 8.9 % se llega al 100 % de su compactación con 10 ciclos del rodillado.

Tabla 22*Densidad de campo Tres Tomas-Zona2 (e=25cm).*

Nº DE CICLOS	DENSIDAD DE CAMPO (gr/cm3)	GRADO DE COMPACTACIÓN (%)
6	1.82	82.24
7	1.88	84.74
8	2.12	95.91
9	2.23	100.65
10	2.26	101.82

Humedad = 8.90 %, Velocidad máxima = 2.5 km/hr

Fuente: Elaboración propia, 2018.

En la tabla 22, se aprecia que para la cantera Tres Tomas con un espesor de 25 cm y con una humedad del 8.9 % se llega al 100 % de su compactación con 9 ciclos del rodillado.

Tabla 23*Densidad de campo La Victoria-Zona2 (e=15cm).*

Nº DE CICLOS	DENSIDAD DE CAMPO (gr/cm3)	GRADO DE COMPACTACIÓN (%)
5	1.59	74.21
6	1.83	85.78
7	1.87	87.63
8	1.88	88.08
9	2.12	99.36
10	2.15	100.67
11	2.16	101.19

Humedad = 8.10 %, Velocidad máxima = 4.5 km/hr

Fuente: Elaboración propia, 2018.

En la tabla 23, se aprecia que para la cantera La Victoria con un espesor de 15 cm y con una humedad del 8.10 % se llega al 100 % de su compactación con 10 ciclos del rodillado.

Tabla 24*Densidad de campo La Victoria-Zona2 (e=20cm).*

Nº DE CICLOS	DENSIDAD DE CAMPO (gr/cm3)	GRADO DE COMPACTACIÓN (%)
5	1.92	89.81
6	1.98	92.54
7	2.04	95.29
8	2.11	98.67
9	2.14	100.19
10	2.19	102.45

Humedad = 8.10 %, Velocidad máxima = 3.5 km/hr

Fuente: Elaboración propia, 2018.

En la tabla 24, se aprecia que para la cantera La Victoria con un espesor de 20 cm y con una humedad del 8.10 % se llega al 100 % de su compactación con 8 ciclos del rodillado.

Tabla 25*Densidad de campo La Victoria-Zona2 (e=25cm).*

Nº DE CICLOS	DENSIDAD DE CAMPO (gr/cm3)	GRADO DE COMPACTACIÓN (%)
5	1.83	85.52
6	1.86	86.96
7	2.09	97.67
8	2.10	98.21
9	2.11	98.51
10	2.14	99.00
11	2.17	101.54

Humedad = 8.10 %, Velocidad máxima = 2.5 km/hr

Fuente: Elaboración propia, 2018.

En la tabla 25, se aprecia que para la cantera La Victoria con un espesor de 25 cm y con una humedad del 8.10 % se llega al 100 % de su compactación con 11 ciclos del rodillado.

3.4. Correlación entre el número de ciclos y la densidad de campo.

3.4.1. Descripción

De los ensayos de densidad de campo se obtuvo datos, los cuales se tomaron para hacer una correlación entre el número de ciclos del rodillo y la densidad de campo para diferentes espesores de las canteras seleccionadas.

Con las densidades de campo se procedió a graficar en un plano cartesiano una gráfica de dispersión con los puntos intersectados de densidad de campo y el número de ciclos del compactador, creando una línea de tendencia polinómica de segundo grado.

Para el afirmado de las canteras mencionadas el número de ciclos que se le aplica a la base granular de afirmado para un espesor de 15 a 25 cm y a una velocidad baja de operación como máximo de 4.5 km/hr, dan como resultado las siguiente correlación que se muestra en la Figura 18 y 19.

$$y = 10.925x^2 - 36.641x + 36.631$$

Ecuación 5. Línea de tendencia para la cantera Tres Tomas.

$$y = 21.156x^2 - 71.615x + 65.776$$

Ecuación 6. Línea de tendencia para la cantera La Victoria.

De la correlación entre el número de ciclos del rodillo y las densidades de campo se obtuvo las ecuaciones 5 y 6, que son ecuaciones cuadráticas de segundo grado que representan una curva definida por puntos.

3.4.2. Resultados

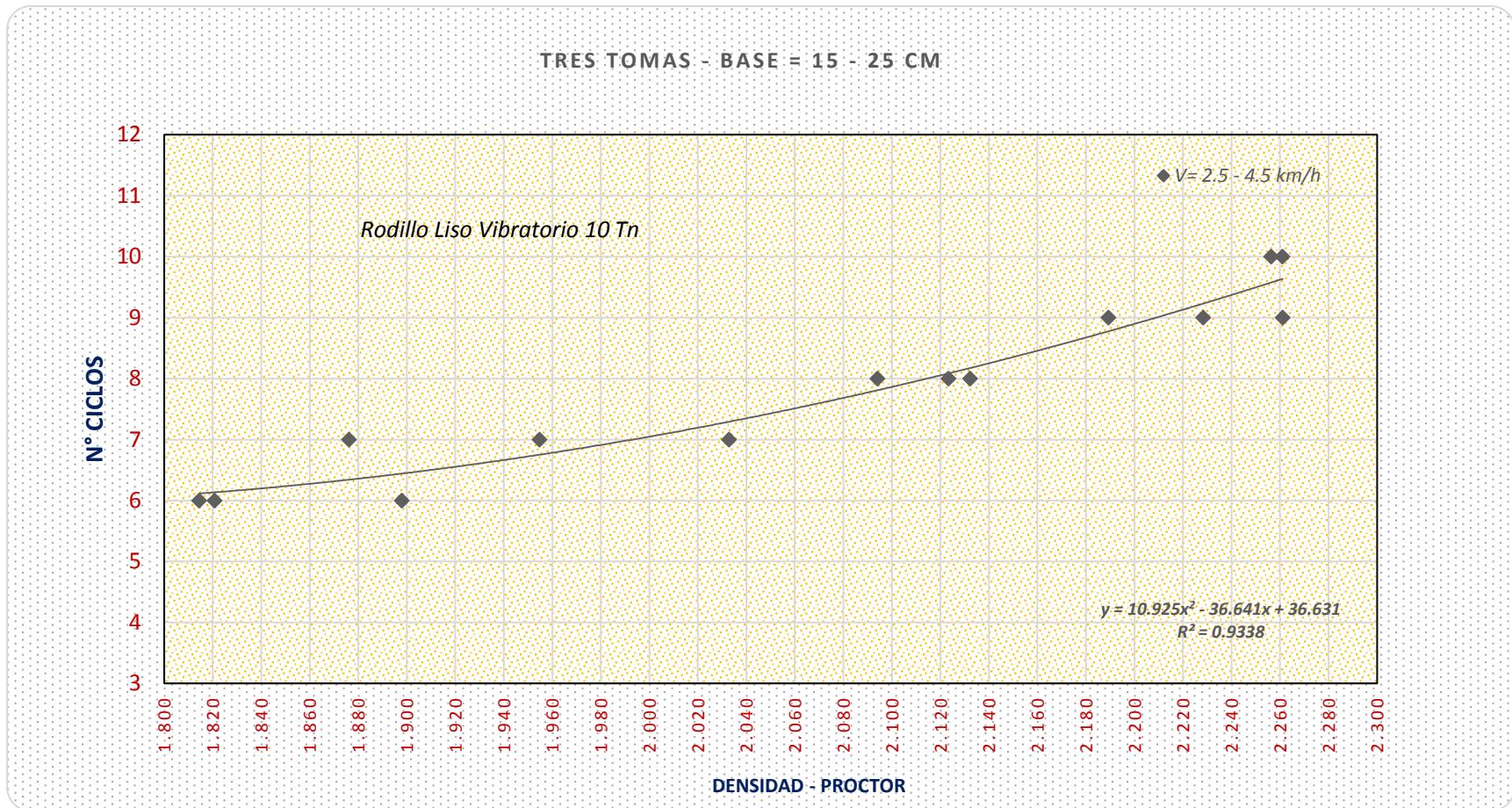
Tabla 26

Variables polinómicas de grado 2 – Tres Tomas.

X_1	X_1^2	X_1^3	X_1^4	Y_1	$X_1 * Y_1$	$X_1^2 * Y_1$
1.898	3.602	6.836	12.974	6.000	11.387	21.612
2.033	4.132	8.400	17.075	7.000	14.229	28.925
2.132	4.547	9.694	20.671	8.000	17.058	36.372
2.261	5.113	11.561	26.141	9.000	20.350	46.015
 1.814	3.292	5.973	10.836	6.000	10.886	19.751
1.955	3.821	7.469	14.600	7.000	13.683	26.747
2.094	4.385	9.181	19.225	8.000	16.752	35.077
2.189	4.793	10.492	22.970	9.000	19.703	43.134
2.261	5.112	11.559	26.135	10.000	22.610	51.123
 1.821	3.315	6.036	10.991	6.000	10.925	19.892
1.876	3.520	6.603	12.389	7.000	13.133	24.638
2.123	4.508	9.573	20.326	8.000	16.986	36.067
2.228	4.965	11.064	24.653	9.000	20.054	44.687
2.256	5.091	11.488	25.921	10.000	22.564	50.913
 28.942	60.20	125.93	264.91	110.00	230.32	484.95
Σ	Σ	Σ	Σ	Σ	Σ	Σ

Fuente: Elaboración propia, 2018.

Figura 24. Correlación de la cantera Tres Tomas.



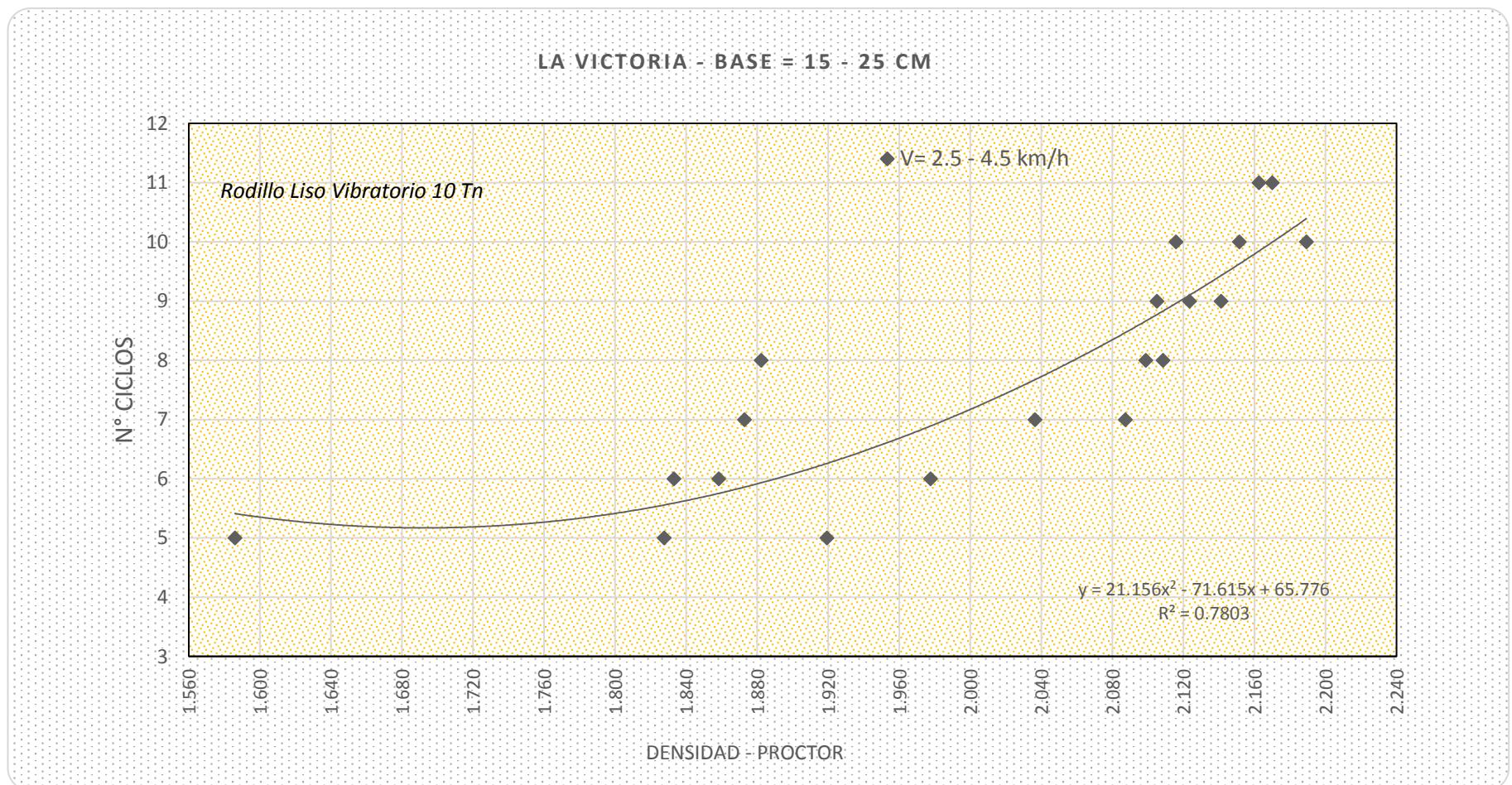
Fuente: Elaboración propia, 2018.

Tabla 27*Variables polinómica de grado 2 – La Victoria.*

X_1	X_1^2	X_1^3	X_1^4	Y_1	$X_1 * Y_1$	$X_1^2 * Y_1$
1.586	2.515	3.989	6.326	5.000	7.930	12.576
1.833	3.360	6.159	11.290	6.000	10.998	20.161
1.882	3.543	6.668	12.551	8.000	15.058	28.341
2.123	4.509	9.574	20.330	9.000	19.111	40.579
2.151	4.628	9.957	21.422	10.000	21.514	46.284
2.162	4.676	10.112	21.867	11.000	23.787	51.438
1.919	3.683	7.069	13.567	5.000	9.596	18.417
1.978	3.911	7.733	15.293	6.000	11.865	23.464
2.036	4.147	8.445	17.197	7.000	14.255	29.028
2.109	4.446	9.374	19.766	8.000	16.868	35.567
2.141	4.585	9.816	21.018	9.000	19.270	41.261
2.189	4.793	10.493	22.972	10.000	21.893	47.929
1.828	3.340	6.105	11.157	5.000	9.138	16.701
1.858	3.453	6.417	11.925	6.000	11.150	20.719
2.087	4.357	9.094	18.982	7.000	14.611	30.498
2.099	4.405	9.245	19.404	8.000	16.790	35.240
2.105	4.431	9.329	19.638	9.000	18.946	39.883
2.116	4.476	9.470	20.037	10.000	21.157	44.762
2.170	4.709	10.218	22.174	11.000	23.870	51.798
40.246	81.47	165.84	339.22	157.00	320.92	659.20
Σ	Σ	Σ	Σ	Σ	Σ	Σ

Fuente: Elaboración propia, 2018.

Figura 25. Correlación de la cantera La Victoria.



Fuente: Elaboración propia, 2018.

IV. DISCUSIÓN

IV. DISCUSIÓN

Se extrajo material de las Canteras Tres Tomás y La Victoria la cantidad necesaria tanto para ser evaluada en laboratorio como en el campo, de las coordenadas mencionadas en los resultados. Dicho material se extrajo naturalmente de las canteras y fue zarandeada para separar la piedra grande mayores a 2”.

Se realizó el estudio de mecánica de suelos del material extraído de ambas canteras utilizando una cantidad de 60 kg para cada una. Del análisis granulométrico realizado se observa que la gradación de éste material cumple con los rangos de tamaños establecidos para su utilización en proyectos de carreteras según el Manual de suelos y Carreteras del MTC.

Se realizó ensayos de densidad de campo con el método del Cono de Arena para tramos de 20 metros de longitud con un ancho de 3.10 metros y para espesores de 15, 20 y 25 cm. Para la compactación se empleó un rodillo liso vibratorio de 10 Tn. Con las densidades obtenidas se calculó el grado de compactación en función de las densidades máximas y humedades óptimas obtenidas en laboratorio mediante los ensayos Proctor. El orificio que se hizo en campo para obtener la densidad fue de 15 cm.

En función a los valores obtenidos en campo se determinó una correlación entre el número de ciclos (ida y vuelta) que realiza el equipo compactador y las densidades de campo. Para las dos canteras se observa que se llega al 100% de compactación a partir de los 9 ciclos de rodillado.

V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

Se logró realizar una correlación matemática en la cual se estaría confirmando la hipótesis de la presente investigación, Permitiendo mínimamente ahorrar en campo el costo de un ciclo de compactación.

La presente investigación solo se aplica para bases granulares de 15 a 25 cm de espesor, de acuerdo a la ecuación 5: $y=10.925x^2-36.641x+36.631$ para obtener la máxima densidad en campo con afirmado de la cantera Tres Tomas.

De acuerdo a la ecuación 6: $y=21.156x^2-71.615x+65.776$ para obtener la máxima densidad en campo con afirmado de la cantera La Victoria.

La correlación elaborada (Densidades vs. Número de ciclos) permitirá determinar el número de ciclos de compactación que permita alcanzar el 100% de la máxima densidad para una base de afirmado de 15,20 y 25 cm. En función de la densidad obtenida en laboratorio.

El material de las canteras Tres Tomas y La Victoria, es empleable en las construcciones de carreteras en la región Lambayeque.

Todo material granular que quiera emplearse como una base o sub base debe ser analizado para determinar si cumple con la clasificación granulométrica y requisitos de calidad estipulados en el Manual de Suelos y Pavimentos del MTC.

5.2. Recomendaciones

Para una base granular de 25 cm, el rodillo deberá compactar a una velocidad baja de 3 km/hr como máximo.

Para una base de 15 y 20 cm, el rodillo deberá compactar a una velocidad media de 4.5 km/hr como máximo.

Se pueden realizar nuevas investigaciones empleando el material de otras canteras y contrastarlas con los resultados de la presente investigación.

Para otros espesores mayores a 25 cm se debe utilizar el equipo del Cono de Arena de mayor capacidad.

Se propone realizar investigaciones de comparación, ventajas y desventajas en el uso de otros métodos de obtener la densidad de campo - insitu, empleando material de diferentes canteras del departamento de Lambayeque.

VI. REFERENCIAS

- Arangurí Castillo, G. Y. (2016). *La importancia del uso de agregados provenientes de canteras de calidad.* In Crescendo Ingeniería, 2(2), 18. Recuperado de <http://revistas.uladech.edu.pe/index.php/increscendo-ingenieria/article/download/1131/915>
- Bonett Solano, G. E. (2014). *Guía De Procesos Constructivos De Una Vía En Pavimento Flexible.* Universidad Militar Nueva Granada. Recuperado de <http://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/10654/12010/1/GU%C3%8DA%20DE%20PROCESOS%20CONSTRUCTIVOS%20DE%20UNA%20VIA%20EN%20PAVIMENTO%20FLEXIBLE%202014.pdf>
- Braja M. Das. (2008). *Fundamentos de Ingeniería Geotécnica.* California: THOMSON LEARNING. Recuperado de <https://es.slideshare.net/ralvmrz/fundamentos-de-ingeneria-geotcnica-braja-m-das>
- Carranza Condore, A. manuel, & Puelles Puelles, A. (2016). *Análisis comparativo entre el uso de la esparcidora de agregados y la motoniveladora para la colocación de base granular en un proyecto de carreteras. Economia.* Pontificia Universidad Católica del Perú. Recuperado de <https://tesis.pucp.edu.pe:8080/repositorio/recent-submissions?offset=2570>
- Cavero Tello, Edward Jimmy Teran Soret, J. L. (2015). *Número de ciclos patrón a nivel de capa de afirmado para obtener el óptimo grado de compactación, utilizando métodos: cono de arena y densímetro nuclear; en el acceso principal a conga, cajamarca 2015.* Universidad Nacional de Cajamarca. Recuperado de <https://www.fing.edu.uy/inco/grupos/pln/prygrado/InformePGRepositorios.pdf>
- Estuardo De León Monroy, E. J. (2009). *VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LA UTILIZACIÓN DEL MÉTODO DE LA ARENA Y EL DENSÍMETRO NUCLEAR EN LA DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD DE CAMPO.* Universidad de San Carlos de Guatemala. Recuperado de http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_3024_C.pdf

Guerrón Avecillas, S. A. (2013). *Comparación de resultados de densidad de campo por los métodos cono y arena, volumétrico y densímetro nuclear*. Universidad Central del Ecuador. Recuperado de <http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/1294>

Juárez Badillo, E., & Rico Rodríguez, A. (2005). *Fundamentos de la Mecánica de Suelos. Mecánica de Suelos*. Recuperado de <https://veteranos1927.files.wordpress.com/2014/05/mecanica-de-suelos-tomo-1-juarez-badillo.pdf>

MINISTERIO DE TRANSPORTES Y COMUNICACIONES - PERU. (2013). *MANUAL DE CARRETERAS - ESPECIFICACIONES TECNICAS GENERALES PARA CONSTRUCCIÓN EG-2013*. Recuperado de [https://www.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas_carreteras/documentos/manuales/Manual de Carreteras - Especificaciones Tecnicas Generales para Construcción - EG-2013 - \(Versión Revisada - JULIO 2013\).pdf](https://www.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas_carreteras/documentos/manuales/Manual de Carreteras - Especificaciones Tecnicas Generales para Construcción - EG-2013 - (Versión Revisada - JULIO 2013).pdf)

Montejo Fonseca, A. (2006). *Ingeniería de pavimentos*. Recuperado de <https://doi.org/9789589761786 9789589761793 9789589784006>

Rodríguez, P. A., & Arias, J. (2015). *Estabilización de suelos en obras de carreteras*. Universidad de Évora. Recuperado de <https://core.ac.uk/download/pdf/62474201.pdf>

Teresa, L., & López, V. (2016). *Estado Vial Bello Horizonte (December 2016)*. Recuperado de <http://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/10654/15489/1/VargasLopezLinaTeresa2016.pdf>

Villalaz, C. (2007). *Problemas resueltos de Mecanica de Suelos y Cimentaciones*. Recuperado de <https://www.casadellibro.com/libro-problemas-resueltos-mecanica-suelos-y-cimentaciones/9789681819385/404314>

VII. ANEXOS

Anexo 1 Panel fotográfico de la ejecución de la investigación.



Figura 26. Anotación de coordenadas con el GPS.

Fuente: Elaboración propia, 2017.



Figura 27. Extracción del material para laboratorio de las canteras.

Fuente: Elaboración propia, 2017.



Figura 28. Acarreo del material en la cantera Tres Tomas.

Fuente: Elaboración propia, 2017.



Figura 29. Preparación del material en cantera Tres Tomas.

Fuente: Elaboración propia, 2017.



Figura 30. Recepción del material en la Zona 2.

Fuente: Elaboración propia, 2018.



Figura 31. Material descargado en la Zona 2.

Fuente: Elaboración propia, 2018.

Anexo 2 Procedimiento de ensayos en laboratorio

Granulometría

Instrumentos y materiales

- Juego de tamices
- Horno
- Balanza con sensibilidad de 0.01 gr.
- Afirmado

Procedimiento

- Se tomó una muestra representativa de 20 kg del material extraído de las canteras para ser tamizados por las malla N°4.



Figura 32. Afirmado de la cantera Tres Tomas.

Fuente: Elaboración propia, 2017.



Figura 33. Afirmado de la cantera La Victoria.

Fuente: Elaboración propia, 2018.



Figura 34. Cuarteo de la muestra de la cantidad de 20 kg.

Fuente: Elaboración propia, 2017.

- Se tamizó el afirmado con la malla N°4 para clasificar el material fino y grueso.



Figura 35. Clasificación del afirmado con la malla N°4.

Fuente: Elaboración propia, 2017.

- El material retenido en la malla N°4, se procedió a registrar su peso para luego lavarlo con agua potable.



Figura 36. Grava lavada retenida en la malla N°4.

Fuente: Elaboración propia, 2017.

- Luego del lavado del material retenido en la malla N°4. Se dio paso a secar para realizar el tamizado desde la malla de 2" hasta la N°4, registrando en un formato sus pesos y poder elaborar la curva granulométrica.



Figura 37. Juego de tamices de 2" hasta N°4.

Fuente: Elaboración propia, 2017.

- Se registra en el formato el peso del material que pasó la malla N°4, de dicho material se toma una muestra representativa, mediante el método del cuarteo y será una porción de 700 gr



Figura 38. Cuarteo del material fino que pasó la malla N°4.

Fuente: Elaboración propia, 2017.

- La muestra representativa tomada será lavada, para ponerla a secar al horno por un periodo de 24 horas.
- Pasado el periodo de secado se procede a tamizar la muestra por las mallas N°8 hasta la N°200.

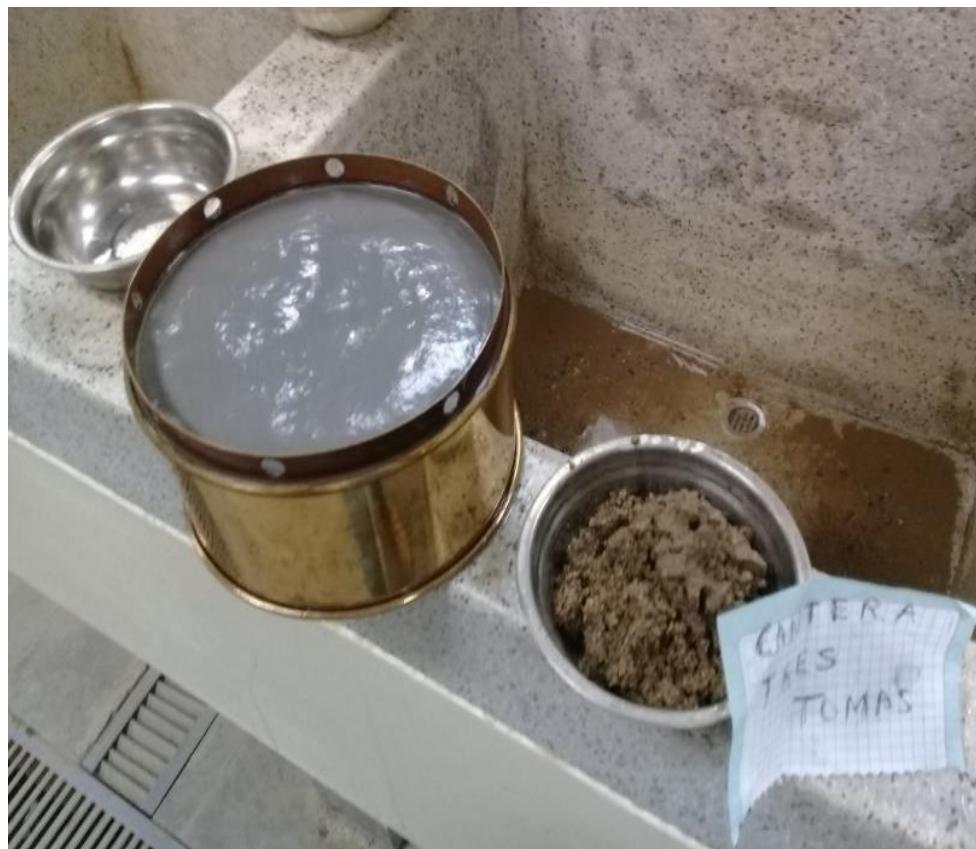


Figura 39. Lavado del material retenido en la malla N°4.

Fuente: Elaboración propia, 2017.

- Se procedió a registrar los pesos del tamizado, para luego elaborar la curva granulométrica.



Figura 40. Mallas desde la N°8 hasta la N° 200.

Fuente: Elaboración propia, 2017.



Figura 41. Registro de los pesos del material tamizado por las mallas N°8 hasta la N°200.

Fuente: Elaboración propia, 2017.

Densidad Máxima (Proctor Modificado)

Instrumentos y materiales

- Molde de Compactación con base y collar
- Pisón de 10 lb
- Cápsulas para contenido de humedad (Taras)
- Espátula metálica
- Balanza de 20 kg
- Probeta graduada para medir el agua
- Bandeja para batir la muestra
- Extractor de muestra
- Regla de acero para nivelar la muestra compactada
- Afirmado de cantera Tres Tomas



Figura 42. Instrumentos para ensayo Proctor.

Fuente: Elaboración propia, 2017.

Procedimiento

- Se preparó el material el cual nos sirvió para hacer el ensayo.
- Se tamizo el material con las mallas siguientes: 2", $\frac{3}{4}$ ", 3/8" y N° 4.



Figura 43. Preparación y tamizado de muestra afirmado de Tres Tomás.

Fuente: Elaboración propia, 2017.



Figura 44. Material retenido en las mallas ¼", 3/8" y N°4.

Fuente: Elaboración propia, 2017.

- De acuerdo a las condiciones que el material cumplió para elegir el método a usar, encajo con el método C para un Proctor. El material retenido en el tamiz 3/8” fue mayor al 20% y el material retenido en la malla N° ¾” fue menor al 30% teniendo como peso de la muestra total de 56275 gr.
- Lo cual se tomó 4 tandas de 5500 g cada una, con sus respectivos pesos de representación de la muestra del afirmado, como decreta el método C.



Figura 45. Dosificación de Tandas de 5500 g.

Fuente: Elaboración propia, 2017.

- Se humecto la primera tanda a compactar en el molde, ascendiendo cada 1% de agua iniciando con una humedad de 4%.

- Se batió la tanda para que proporcionalmente la humectación sea uniforme.



Figura 46. Peso de tanda de 5500 g.

Fuente: Elaboración propia, 2017.



Figura 47. Humectación de Tanda a 4% de humedad (220 ml).

Fuente: Elaboración propia, 2017.



Figura 48. Batido de la tanda humectada.

Fuente: Elaboración propia, 2017.

- Luego se realizó la compactación en el molde de 6" y el pisón de 10 lb, de acuerdo al método C que estipula el reglamento de la N.T.P. Solo para suelos que tengan más del 20% retenido en la malla 3/8", apisonando la primera capa con 56 golpes distribuida en el área del molde, igualmente la segunda capa hasta llegar a la quinta capa con el mismo número de golpes por capa.

- Luego se procedió al desmolde de la muestra para luego escarificar, nivelar y pesar el volumen de la tanda compactada. Y así obtener el peso del molde más la muestra compactada con su respectiva humedad. Después de pesar el molde más la muestra compactada se procede a extraer una muestra controlable para determinar la humedad, ingresándole al horno en una tara la muestra controlable por 24 horas a 110 °C.



Figura 49. Molde de 6” lista a recepcionar primera capa de muestra.

Fuente: Elaboración propia, 2017.



Figura 50. Primera capa vertida en molde de 6” lista para compactar.

Fuente: Elaboración propia, 2017.



Figura 51. Compactación de primera capa con pisón de 10 lb.

Fuente: Elaboración propia, 2017.



Figura 52. Compactación de segunda capa con pisón de 10 lb.

Fuente: Elaboración propia, 2017.



Figura 53. Primera capa compactada con 56 golpes con pisón de 10 lb.

Fuente: Elaboración propia, 2017.



Figura 54. Tanda compactada en 5 capas.

Fuente: Elaboración propia, 2017.



Figura 55. Desmolde y nivelación de la muestra compactada.

Fuente: Elaboración propia, 2017.



Figura 56. Peso del molde sin base más la muestra compactada.

Fuente: Elaboración propia, 2017.

Límite de consistencia de Atterberg

Límite líquido (L.L) (ASTM D-423 – MTC E 110)

Descripción

Es un ensayo que consiste en encontrar el contenido de agua en función al peso de la muestra seca que pasa la malla N°40 y se expresa en porcentaje. Este ensayo se realiza para cambiar del estado líquido al plástico según estudios de Arthur Casagrande.

Instrumentos y materiales

- Recipiente o vasija de porcelana.
- Equipo Casagrande
- Espátulas flexibles aproximadamente de 20 mm de ancho y de 75 a 100 mm de longitud.
- Acanalador.
- Balanza con sensibilidad de 0.01 gr.
- Probeta con capacidad de 25 cm³.
- Horno con temperatura de 110 ± 5°C.
- Agua destilada
- Tamiz N° 40.

Procedimiento

- Tomamos una muestra representativa del afirmado y lo ponemos a secar por 24 horas al horno.
- Tamizamos la muestra seca por la malla N°40 hasta obtener 200 gr.



Figura 57. Material que pasa la malla N° 40.

Fuente: Elaboración propia, 2017.

- Se mezcla la muestra con el agua destilada y dejamos por 24 horas para que la humedad se distribuya por toda la muestra.



Figura 58. Saturación de la muestra.

Fuente: Elaboración propia, 2017.

- Al siguiente día se procede a calibrar la copa Casagrande, ésta se debe encontrar a 10 mm de la base.
- Se comienza a verter la muestra en la copa Casagrande la cantidad de 60 gr. Aproximadamente.

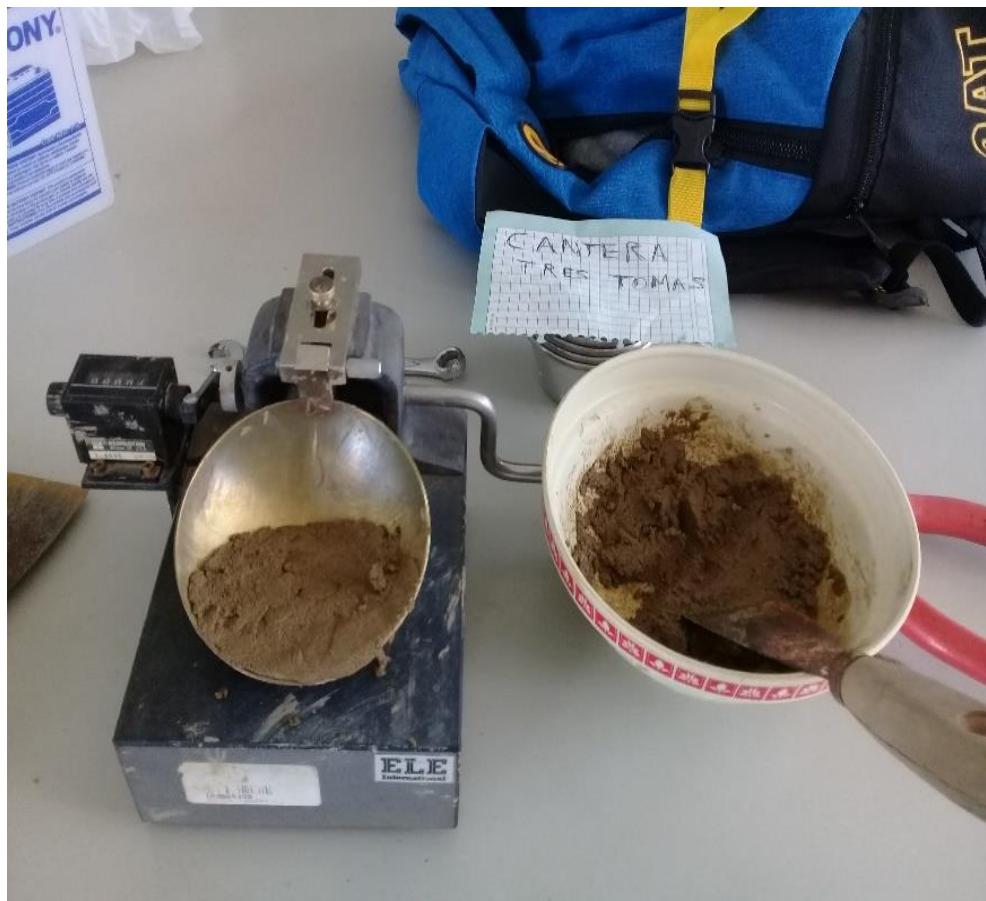


Figura 59. Calibración de la copa Casagrande y saturación de la muestra.

Fuente: Elaboración propia, 2017.

- Una vez vertida la muestra sobre la copa Casagrande se procede a realizar un surco con el acanalador en medio de la copa Casagrande.



Figura 60. Muestra surcada por el acanalador.

Fuente: Elaboración propia, 2017.

- Una vez acanalada la muestra se debe girar la manizuela contando el número de golpes.
- Luego se extrae una porción de 10 gr, aproximadamente para pesarlo en una tara o recipiente y ponerlo al horno por 24 horas, para así obtener su contenido de humedad y cuatro puntos para crear una línea de tendencia y al final nos dará el límite líquido.



Figura 61. Peso de muestra húmeda.

Fuente: Elaboración propia, 2017.



Figura 62. Muestras secas al horno por 24 horas.

Fuente: Elaboración propia, 2017.

Límite plástico (L.P) (ASTM D-424- MTC E 211)

Descripción

Para determinar el límite plástico, usualmente se usa el material que ha sido mezclado con agua y que ha sobrado del ensayo del límite líquido, dicha muestra se remueve y se mezcla hasta obtener una mezcla plástica que sea fácilmente moldeable. Se forma luego una pequeña bola que deberá compactarse en una placa de vidrio o en la palma de la mano, aplicando una presión a efectos de formar filamentos.

Cuando el diámetro del filamento resultante sea de 3.17 mm (1/8") sin romperse, deberá juntarse nuevamente la muestra, mezclarlo en forma de bola y volver a compactar el material. Ese proceso se continúa hasta que se produzca la ruptura del cilindro al instante de alcanzar 1/8" de diámetro. Los suelos que no pueden compactarse con ningún contenido de humedad se consideran como no plásticos (N.P). Cuando al enrollar la muestra de suelo se agriete el cilindro, se toman todas las partes, se pesan, se secan al horno, y se vuelven a pesar ya secos y por último se determina la humedad.

Instrumentos y materiales

- Espátulas
- Recipientes para almacén de muestra húmeda
- Balanza con aproximación a 0.01gr.
- Horno
- Tamiz N°40
- Agua destilada
- Vidrio liso esmerilado

Procedimiento

- Empezamos a enrolar la muestra hasta que esta se cuartee.



Figura 63. Muestra enrolada.

Fuente: Elaboración propia, 2017.

- Vertimos esta muestra en la tara y la pesamos
- Colocar la muestra al horno sin tapar el recipiente a una temperatura de $110^{\circ} \pm 5^{\circ}\text{C}$, por un tiempo estimado de 18 horas como mínimo.
- Cuando la muestra esté seca, retirarla del horno y pesarla más el depósito
- Por último realizar los cálculos necesarios para hallar el contenido de humedad.

Anexo 3 Especificaciones técnicas del rodillo liso vibratorio INGERSOLL RAND SD100

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DEL RODILLO LISO VIBRATORIO
INGERSOLL RAND SD100

Pesos

Peso en operación	10476 Kg
Peso estático de tambor	5941 Kg
Peso estático con neumáticos	4530 Kg
Peso para trasladarse	10347 Kg

Dimensiones de máquina

Longitud	5.89 M
Ancho	2.29 M
altura con cabina	3.1 M
Distancia entre ejes	3.1 M
Distancia de acera	48 Cm
Radio de giro interior (al borde del tambor)	3.46 M

Tambor

Ancho	2.13 M
Diámetro	1.5 M
Espesor de la carcasa	2.5 Cm

Vibración

Frecuencia - vpm (Hz)	vpm (Hz)
Fuerza centrífuga -	
(kN)	
Alto	264 Kn
Bajo	206 kN
Amplitud nominal	
Alto	1.92 Mm
Bajo	1.29 Mm

Propulsión

Tipo de sistema	Motor hidrostático de una velocidad en el eje planetario con Motor diferencial No-Spin® y motor de tambor de 2 velocidades			
Tamaño de llanta	23.1 x 26 -8PR R3			
Manejo de tambor	Reducción de engranaje planetario			
Velocidad de desplazamiento	Alto	0-6.3	(0-10.1)	Rpm(km/hr)
	Bajo	0-3.7	(0-6)	Rpm(km/hr)

Motor

Modelo	Cummins B3.9 – TAA Tier 2			
Tipo de motor	4 cilindros turboalimentado y pos refrigerado			
Potencia nominal @ 2,200 rpm - hp (kW)	125 (93.2)			
Sistema eléctrico	12 voltios CC, tierra negativa, alternador 95 A, (2) 750 baterías CCA			
Frenos	Sistema hidrostático dinámico a través de la propulsión			
Estacionamiento / Secundario	Aplicado por resorte, liberado hidráulicamente en motores de accionamiento de tambor y tambor			

Otros

Angulo de Articulación	" +/- 38° "
Oscilación de ángulo	" +/- 17° "
Capacidad de combustible Gal/Litros	68/257
Capacidad del aceite hidráulico - Gal/Litros	22/84
Gradibilidad	Teórico

Anexo 4 Proceso de Compactación - Cantera Tres Tomas

En esta obra se realizó el mejoramiento de transitabilidad vehicular comprendida como Zona 01 ubicada en la calle Roma y prolongación Roma ubicada en el distrito de José Leonardo Ortiz, provincia de Chiclayo, departamento de Lambayeque, se dio inicio a quincenas del mes de octubre del 2017, en presencia del ingeniero residente de la obra se realizó el proceso de compactación a nivel de base.



Figura 64. Topógrafo encargado de la nivelación y la colocación de plantillas.

Fuente: Elaboración propia, 2017.

Se comenzó marcando el área a recepcionar, el material afirmado a nivel de sub base, para poder esparcirlo, medirlo y determinar el volumen requerido en función de la capacidad de los camiones. El afirmado fue extraído de la cantera Tres Tomas con previa formación de granulometría y machaqueo en las plantas existentes de determinada cantera.



Figura 65. Colocación de plantillas.

Fuente: Elaboración propia, 2017.

Para realizar el proceso de compactación se empleó maquinaria pesada (Anexo N° 03) y se tomó medidas del terraplén en planta de los tramos elegidos para realizar la compactación y realizar luego las densidades de campo.



Figura 66. Rodillo vibro compactador liso INGERSOLL - RAND SD - 100D.

Fuente: Elaboración propia, 2017.

El primer tramo se inició desde la calle San Martín en la progresiva km 00+80 hasta el km 00+110 con un ancho de calzada de 9.00 m. El segundo Tramo se realizó en la progresiva km 00+370 hasta el km 00+321.50.

La exposición del material se realizó con un volumen extra por el esponjamiento del material y se hidrato el material hasta alcanzar una humedad de +- 2% en relación a la humedad optima obtenida en el laboratorio.

En el área manipulada en cada tramo para esta investigación de 30 m de largo y 9 de ancho la hidratación en cada tramo con agua se midió en galones, correspondiendo para cada volumen de terraplén una humedad optima del 7.5% equivalente a 802 galones.



Figura 67. Toma de medida del contenido de humedad en campo del 0% al 20%.

Fuente: Elaboración propia, 2017.

El material en campo se encontró con una humedad inicial del 4% con la ayuda de cilindros de capacidad de 50 galones se procedió a medir el agua necesaria para hidratar cada tramo y llegar a la humedad optima del 7.5% correspondiendo aplicar en campo 7.5 cilindros (375 galones) por cada tramo.



Figura 68. Marca de capacidad de cilindro.

Fuente: Elaboración propia, 2017.



Figura 69. Cilindros de capacidad de 50 galones y motobomba de 2".

Fuente: Elaboración propia, 2017.



Figura 70. Aplicación de 375 galones de agua mediante una motobomba de 2" en una moto carguera.

Fuente: Elaboración propia, 2017.

Se procedió a escarificar, expandir y nivelar el material afirmado sobre la sub base en un espesor de 15 cm con puntos (plantillas) marcados por el topógrafo en cada progresiva de topografía.



Figura 71. Motoniveladora Cat de 159 KW ejecutando el batido del material para base.

Fuente: Elaboración propia, 2017.

Finalmente se realizó el número de ciclos de compactación y prueba de densidad de campo con un compactador mecánico denominado como rodillo liso vibratorio (ver anexo 03). Lo cual compacto a una velocidad constante de 4 km/Hr a un numero de 2 ciclos, 5 ciclos, 7 ciclos, 9 ciclos, 10 ciclos y 12 ciclos.



Figura 72. Rodillo liso vibratorio generando energía cada 2 ciclos.

Fuente: Elaboración propia, 2017.

Anexo 5 Proceso de Compactación - Canteras La Victoria y Tres Tomas

Se construyó tres terraplenes en un terreno alquilado comprendida como Zona 02 ubicada en el parque San José en el distrito de La Victoria, provincia de Chiclayo, departamento de Lambayeque, se dio inicio en el mes de Abril del 2018, en presencia de un técnico en suelos, operarios y ayudantes contratados.

Ésta zona nos sirvió para realizar nuestra investigación para las dos canteras seleccionadas, se considera como tramos de prueba o también se podría llamar prototipos, que nos ayudan a investigar algo nuevo de una manera más eficaz y exacta.

Para un trabajo de calidad se realizó una limpieza de la maleza y el replanteo con yeso del área a recepcionar, marcando rectángulos de 3.10m x 20m y a espesores de 15c, 20 y 25cm cada uno.



Figura 73. Limpieza y desbroce de la Zona 2.

Fuente: Elaboración propia, 2018.



Figura 74. Replanteo de los terraplenes de la Zona 2.

Fuente: Elaboración propia, 2018.

Luego se esparció el material afirmado para poder metrarlo y determinar el volumen requerido en función de la capacidad de los camiones. El afirmado fue extraído de la cantera Tres Tomás y La Victoria con previa formación de granulometría y machaqueo en las plantas existentes de determinadas canteras.



Figura 75. Motoniveladora en la Zona 2.

Fuente: Elaboración propia, 2018.

En el área manipulada en cada tramo para esta investigación de 20 m de largo y 3.10m de ancho, la hidratación con agua en cada tramo se midió en galones, correspondiendo para cada volumen de terraplén una humedad optima del 8.10 % equivalente a 332 galones.



Figura 76. Midiendo el agua en cilindros.

Fuente: Elaboración propia, 2018.



Figura 77. Hidratación de los terraplenes.

Fuente: Elaboración propia, 2018.

La humedad en campo se controló utilizando el equipo de Speedy, su uso es esencial porque ayuda a ahorrar tiempo ya que se calcula el contenido de humedad de un suelo casi al instante, que es justo cuando se necesita para saber qué cantidad de agua aplicarle para el proceso de la compactación.



Figura 78. Speedy calculando el contenido de humedad.

Fuente: Elaboración propia, 2018.

Se escarificó, expandió y niveló el material afirmado sobre el terreno a espesores de 15, 20 y 25 cm con puntos (estacas) colocados y espaciados aproximadamente a 10 m una de otra.

Para el proceso de compactación se empleó maquinaria pesada (Anexo N° 03) y se tomó medidas del terraplén en planta de los tramos elegidos para realizar la compactación y realizar luego las densidades de campo.



Figura 79. Compactación de los terraplenes.

Fuente: Elaboración propia, 2018.

Se realizó pruebas de densidad de campo con el método del Cono de Arena a un número de 4 a 11 ciclos.

Anexo 6 Densidad de Campo – Método del cono de arena

(ASTM – D-156 – MTC E 117)

Instrumentos y materiales

- Cono y arena
- Aparato del cono de arena
- Horno
- Martillo
- Placa metálica hueca
- Arena calibrada
- Taras
- Balanza
- Bolsas Plásticas

Procedimiento de ensayo

- Una vez en campo se procedió a calibrar el equipo de densidad de campo, seguidamente se excavó el suelo compactado.



Figura 80. Calibración del cono sin arena – Zona 1.

Fuente: Elaboración propia, 2017.

- A continuación se colocó la placa y se comenzó a hacer una perforación, teniendo como guía el agujero interior de la placa, a una profundidad de 10 a 15 cm.



Figura 81. Excavación de agujero de 15 cm de profundidad – Zona1.

Fuente: Elaboración propia, 2017.

- Observando ya la cavidad formada con las paredes uniformes, también se procuró que el material extraído no pierda su humedad natural.



Figura 82. Medida de profundidad del agujero – Zona 1.

Fuente: Elaboración propia, 2017.

- Se procedió a pesar el cono con la arena ya en su interior como peso inicial.
- Se procedió a colocar el cono de arena en el agujero excavado.



Figura 83. Cono de arena en el agujero excavado – Zona 2.

Fuente: Elaboración propia, 2018.

- Se abrió la llave hasta que se llene de arena la cavidad realizada.



Figura 84. Arena que queda en el balón – Zona 1.

Fuente: Elaboración propia, 2017.

- Se procedió a pesar el cono con el resto de arena que quedó como peso final.



Figura 85. Peso de la arena que queda en el balón – Zona 1.

Fuente: Elaboración propia, 2017.

- Se pesó el material extraído del agujero, luego a pesar el material retenido en la malla N° $\frac{3}{4}$ " para saber la cantidad de finos y gravas, a este material retenido lo denominamos como grava.

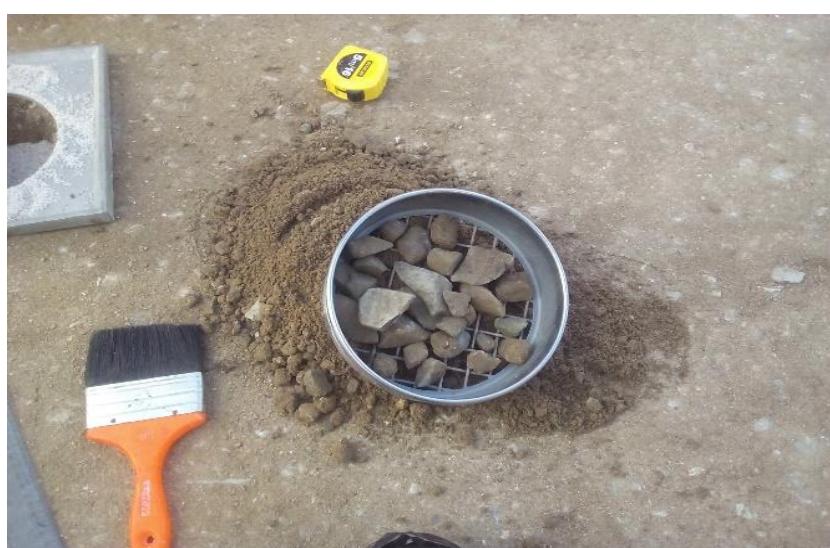


Figura 86. Material retenido en la malla N° $\frac{3}{4}$ " – Zona 1.

Fuente: Elaboración propia, 2017.



Figura 87. Prueba de densidad de campo – Zona 2.

Fuente: Elaboración propia, 2018.

- Para finalizar este ensayo se procedió a obtener el contenido de humedad de la muestra extraída del agujero se toma 4 gramos aproximadamente y se procede a obtener su contenido de humedad con el uso del Humedómetro o Speedy.
- Se tomó precauciones en usar mascarilla para no aspirar el gas emanado por el cloruro de calcio.



Figura 88. Control de humedad con el humedómetro o Speedy.

Fuente: Elaboración propia, 2017.

- Para el contenido de humedad se tomó una muestra de 4 gr de material, lo cual se introdujo en el humedómetro, luego se introdujo dos copas de medida de cloruro de calcio con las vías o esferas de acero.
- Una vez puesta las vías se procedió agitar 2 minutos aproximadamente y esperamos unos 5 minutos hasta que la aguja del reloj nos indique directamente la humedad de la muestra con un error de +- 1.5%.
- De esta misma forma se realizó los ensayos para todos los números de ciclos siguientes: 4 a 11 ciclos.

Anexo 7 Calicata del terreno de fundación



Figura 89. Demarcación de la calicata de 1.5m x 2m.

Fuente: Elaboración propia, 2018.



Figura 90. Excavación de 1.50m de profundidad.

Fuente: Elaboración propia, 2018.



Figura 91. Midiendo la profundidad de la calicata.

Fuente: Elaboración propia, 2018.



Figura 92. Demarcación de los estratos.

Fuente: Elaboración propia, 2018.



Figura 93. Extracción de los estratos.

Fuente: Elaboración propia, 2018.



Figura 94. Extracción de muestras inalteradas.

Fuente: Elaboración propia, 2018.

Anexo 8 Repositorio

CITAS	AUTOR	Nº VECES
INTRODUCCIÓN		
SITUACIÓN PROBLEMÁTICA		
A NIVEL INTERNACIONAL		
Estado vial de Bello Horizonte	Teresa y López, 2016	1
Estado de mantenimiento vial en España	infoluna.com,2016	1
En España en estado responsable de accidente por mal estado de los pavimentos	El Comercio, 2017 Imelda Hernández, 2017	1
México, vías en mal estado	Diario Pulso, 2017	1
México, vías en mal estado	Diario Pulso, 2017	1
A NIVEL NACIONAL		
Perú, carreteras construidas desde 1940 al 2016	Jaramillo, 2016	1
Costos de transporte detienen numerosas exportaciones	perú21, 2013	1
A NIVEL LOCAL		
Lambayeque, ciudad presenta grietas en calles principales	peru21, 2014	1
distrito José Leonardo Ortiz, con calles en mal estado	Camasca, 2015	1
ANTECEDENTES		
A NIVEL INTERNACIONAL		
	Silvia Alexandra	
Comparación de resultados de densidad de campo por los métodos cono y arena, volumétrico y densímetro nuclear	Guerrón Avecillas (2013)	1
Estabilización de suelos en carreteras	Pedro Andrés Rodríguez (2015)	1
guía de procesos constructivos de una vía en pavimento flexible	Bonett Solano (2014)	1
A NIVEL NACIONAL		

Número de ciclos patrón a nivel de capa de afirmado para obtener el óptimo grado de compactación, utilizando métodos: cono de arena y densímetro nuclear, en el acceso principal de Conga, 2015	Cavero Tello Edward Jimmy y Teran Soret Jorge Luis (2015)	1
La importancia del uso de agregados provenientes de canteras de calidad	. Castillo (2016)	1
Análisis comparativo entre el uso de la esparcidora de agregados y la motoniveladora para la colocación de base granular en un proyecto de carreteras	Tokman (2016)	1
MARCO TEÓRICO		
Manual de Especificaciones Técnicas Generales para la Construcción de Carreteras	MTC – EG (2013)	2
Fundamentos de la mecánica de suelos	Juárez Badillo y Rico Rodríguez, 2005	6
Mecánica de suelos y cimentaciones	Villalaz, 2007 Montejo Fonseca	1
Ingeniería de pavimentos para carreteras	(2006)	2
ventajas y desventajas de la utilización del método de la arena y el densímetro nuclear en la determinación de la densidad de campo	Monroy, 2009	1
Fundamentos de ingeniería geotecnica	Braja M. Das, 2008	4
MATERIALES Y MÉTODOS		
NORMATIVAS		
Densidad de campo por el Método del cono de arena	ASTM D -1556 – MTC E 117	1
Ensayo de contenido de humedad	ASTM D – 2216 – MTC E 108	1
Contenido de humedad en los suelos con el método del carburo de calcio	ASTM D-4944 – MTC E 126	1
		1

Compactación de suelos en laboratorio utilizando una energía modificada	ASTM D-1557- MTC E 115
Análisis granulométrico	ASTM D-422 – MTC E 107
Límites de consistencia de Atterberg	ASTM D-4318 – MTC E E 213
Límite líquido (L.L)	ASTM D-423 – MTC E 110
Límite Plástico (L.P)	ASTM D-424 – MTC E 111
Sistema de Clasificación	AASHTO
Sistema Unificado SUCS	ASTM D 2487 1

Anexo 9 Formatos de ensayos de Mecánica de Suelos, análisis de costo unitario por m³ compactado de afirmado y costo unitario por ciclo de compactación (ida y vuelta).