

UNIVERSIDAD ALAS PERUANAS
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



TESIS

**ESTUDIO DE POLIMEROS ACRILICOS RETICULADOS
COMO CAPA DE RODADURA PARA LA VIA NO
PAVIMENTADAS EN LA AVENIDA LAS TORRES DEL
DISTRITO DE YURA – AREQUIPA**

**PRESENTADO POR EL BACHILLER:
BRAYN ADOLFO VILCA ROMERO**

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

AREQUIPA – PERU

2016

DEDICATORIA

El presente trabajo de investigación, conlleva muchas personas, que aportaron de manera directa e indirecta, espero abarcar a todos los que influyeron en mí, en seguir por este camino y apoyarme en los momentos más difíciles; primeramente a Dios, a mi familia, a esa persona especial en mi vida, a mis Amigos, a mi equipo de trabajo y por ultimo a la memoria de las personas que fueron tan cercanas a mí.

INDICE

RESUMEN	i
ABSTRACT.....	ii
INTRODUCCION.....	iii
CAPITULO I.....	1
1. PLANTEAMIENTO METODOLOGICO.....	1
1.1. EL PROBLEMA.....	1
1.1.1. FUNDAMENTACIÓN DEL PROBLEMA	1
1.1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	2
1.1.3. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN	3
1.1.4. LIMITACIONES Y RESTRICCIONES DE LA INVESTIGACIÓN	3
1.1.5. ALCANCES DE LA INVESTIGACIÓN	4
1.2. OBJETIVO DE LA INVESTIGACIÓN	4
1.2.1. OBJETIVO GENERAL	4
1.2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	4
1.3. HIPÓTESIS	4
1.4. VARIABLES	5
1.4.1. VARIABLE DEPENDIENTE	5
1.4.2. VARIABLE INDEPENDIENTE.....	5
CAPITULO II.....	1
2. FUNDAMENTOS TEORICOS DE LA INVESTIGACION	1
2.1. EL SUELO	1
2.1.1. DEFINICION DE SUELO EN PAVIMENTOS.....	1
2.1.2. TIPOS DE SUELOS.....	2
2.1.3. COMPOSICION DE SUELOS	4
2.1.4. DESCRIPCION DE LOS SUELOS	7
2.2. EL PAVIMENTO	19
2.2.1. HISTORIA DE LOS PAVIMENTOS	19
2.2.2. DEFINICIÓN DE PAVIMENTOS.....	24
2.2.3. TIPOS DE PAVIMENTOS	25
2.2.4. CLASIFICACION DE CARRETERAS	29
2.3. POLIMERO.....	32
2.3.1. DEFINICION DE POLIMERO	32
2.3.2. CLASIFICACION DE POLIMEROS.....	33
2.3.3. USO DE POLIMEROS EN PAVIMENTOS	35
2.3.4. POLIMERO ACRILICO RETICULADO “AGGREBIND”	43

2.3.5.	USOS DEL POLIMERO ACRILICO RETICULADO	45
2.4.	MARCO NORMATIVO	45
2.4.1.	DESCRIPCION	45
2.4.2.	MATERIALES	46
2.5.	MARCO METODOLÓGICO	48
2.5.1.	DISEÑO METODOLÓGICO	48
2.6.	TÉCNICAS DE RECOPIACIÓN DE DATOS.....	49
2.6.1.	EXPLORACION DE SUELOS:	49
2.6.2.	ESTUDIO DE TRÁFICO	52
2.6.3.	ENSAYO DE CUARTEO DE MUESTRAS.....	73
2.6.4.	ENSAYO DE GRANULOMETRIA	77
2.6.5.	ENSAYO DE LIMITE LÍQUIDO.....	84
2.6.6.	ENSAYO DE LIMITE PLASTICO	89
2.6.7.	ENSAYO DE PROCTOR.....	91
2.6.8.	ENSAYO DE CBR (CALIFORNIA BEATING RATIO).....	107
2.6.9.	ENSAYO DE ABRASION LOS ANGELES AL DESGASTE DE LOS AGREGADOS DE TAMAÑOS MENORES 119	
CAPITULO III .....	.....	126
3.	DESCRIPCION DEL PROYECTO	126
3.1.	ANTECEDENTES	126
3.2.	UBICACIÓN.....	126
3.3.	CARACTERÍSTICAS DE LA ZONA	128
3.4.	PROBLEMÁTICA DE LA ZONA	135
3.4.1.	CANTIDAD DE TRÁFICO	135
3.4.2.	ESTADO DE LA VÍA	135
3.4.3.	TOPOGRAFÍA Y CLIMA	136
CAPITULO IV .....	.....	137
4.	ANÁLISIS DEL PROYECTO	137
4.1.	INGENIERÍA DEL PROYECTO	137
4.1.1.	RECOLECCIÓN DE MUESTRAS DE SUELO	137
4.1.2.	ESTUDIO DE TRÁFICO	142
4.1.3.	METODO MECANISTICO PARA EL DISEÑO DEL PAVIMENTO	164
CAPITULO V .....	.....	168
5.	DISEÑO DEL PROYECTO	168
5.1.	ANÁLISIS DEL DISEÑO	168
5.1.1.	ENSAYOS AL SUELO SIN POLIMERO.....	168
5.1.2.	ENSAYOS AL SUELO CON POLÍMERO	219
5.1.3.	INTERPRETACION DE RESULTADOS DE ENSAYOS RESPECTO AL METODO DE DISEÑO	232
5.2.	ANÁLISIS MEDIO AMBIENTAL Y DE SOSTENIBILIDAD.....	234
5.2.1.	ANÁLISIS DE COMPONENTES MEDIO AMBIENTALES CON LA APLICACIÓN DEL POLÍMERO	234

5.2.2. ANÁLISIS DE COMPOSICIÓN MEDIO AMBIENTALES CON LA APLICACIÓN DEL ASFALTO	242
247	
5.3. ANÁLISIS ECONÓMICO	251
5.3.1. ANÁLISIS DE COMPONENTES ECONÓMICOS CON LA APLICACIÓN DEL POLÍMERO	251
5.3.2. ANÁLISIS DE COMPONENTES ECONÓMICOS CON LA APLICACIÓN DEL ASFALTO.	253
CAPITULO VI	257
6. ANALISIS DE RESULTADO DE INVESTIGACION	257
6.1. COMPARACIÓN FÍSICA DEL CAMINO ENTRE LA APLICACIÓN DEL POLÍMERO ACRÍLICO RETICULADO Y EL SUELO ACTUAL.	257
6.2. COMPARACIÓN MEDIO AMBIENTAL DEL CAMINO ENTRE LA APLICACIÓN DEL POLÍMERO ACRÍLICO RETICULADO Y LA APLICACIÓN DE ASFALTO.....	260
6.3. COMPARACIÓN ECONÓMICA DEL CAMINO ENTRE LA APLICACIÓN DEL POLÍMERO ACRÍLICO RETICULADO Y LA APLICACIÓN DE ASFALTO.	262
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	264
ANEXOS	268
BIBLIOGRAFIA	303

RESUMEN

La pavimentación en vías de todo tipo, es un factor importante para el desarrollo de la población, en todos los sentidos, tanto económicos como sociales, es por ello que, la población está en el continua búsqueda de que las zonas en las que habitan sean pavimentadas a fin de generar oportunidades para ellos mismos y para llevar una mejor calidad de vida. Es por ello que las autoridades hoy en día se han trazado la idea de pavimentar la mayor cantidad de vías a lo largo de sus gestiones o gobiernos, muchas veces sin tomar en cuenta la viabilidad de los proyectos, a pesar de los lineamientos de los órganos de control, muchas veces no se opta por alternativas que a pesar de no ser muy conocidas terminan siendo más viables que la pavimentación tradicional y que representan más beneficios para la población.

ABSTRACT

The paving roads of all kinds, is an important development of the population, in every sense , both economic and social factor is why the population is in continuous search of the areas where they live are paved to create opportunities for themselves and lead a better quality of life. That is why today the authorities have traced the idea of paving roads as much over his efforts or governments, often without taking into account the feasibility of the projects, despite the guidelines of the organs control, often do not opt for alternatives that despite not being well known end up being more viable than traditional paving and represent more benefits to the population

INTRODUCCION

El presente proyecto de investigación nos proporcionara una herramienta para medir y comparar una alternativa no muy conocida pero que es cada vez más usada de manera un poco experimental al no existir lineamientos claros para su aplicación, pero que aun así muestran resultados interesantes y competitivos respecto a los métodos más tradicionales de pavimentación usados en nuestro país; así mismo el presente proyecto nos servirá de referencia para tomar en cuenta la alternativa y demostrar con datos que tan optimo puede ser utilizar este método de pavimentación.

CAPITULO I

1. PLANTEAMIENTO METODOLOGICO

1.1. EL PROBLEMA

1.1.1. FUNDAMENTACIÓN DEL PROBLEMA

La pavimentación de carreteras rurales de bajo volumen de tránsito es necesaria, ya que son vías de comunicación entre pueblos y en gran número de casos entre ciudades. Estas vías de comunicación permiten el transporte de productos agrícolas, el acceso de la educación y salud, contribuyendo así al desarrollo de los pueblos.

En la actualidad nuestro país posee una cantidad considerable de vías, las cuales sirven para el transporte y comunicaciones por todo el país, necesario para el traslado de gente y mercadería, esto tiene considerable influencia en la economía del país, tanto en gobiernos locales como regionales, estas nos sirven también para el transporte y comercio con el resto de países, por ello es importante concebir buenas vías de comunicación, buenas carreteras tanto en el interior como en el exterior del país; para ello se necesita buenos recursos y buenos proyectos ingenieriles, para aprovechar al máximo la construcción de vías.

Miles de millones de dólares y horas hombre se gastan cada año en la construcción, mantenimiento y reparación de caminos. Acanalamientos, erosión, deslizamiento de tierras, baches y polvo, son problemas comunes de los caminos secundarios, o no pavimentados, que afectan a todos.

Tiempo y dinero son irremediabilmente perdidos, los costos aumentan y nuestra comodidad y seguridad son puestas en juego por las condiciones precarias de los caminos.

La problemática que detallo en este plan de tesis se enfoca en la falta de estudio y conocimiento de este polímero acrílico reticulado respecto a las propiedades y/o características que este tiene como agente estabilizador y su uso como superficie de rodadura en caminos de bajo y mediano volumen de tránsito. Tanto en su aplicación como en sus propiedades

1.1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

a) Pregunta principal

- ¿Es posible el uso del polímero acrílico reticulado como superficie de rodadura para caminos de bajo y mediano volumen de tránsito?

b) Preguntas secundarias

- ¿Cuáles son las propiedades físicas y químicas del suelo estabilizado con el polímero acrílico reticulado?
- ¿Se puede medir la capacidad de soporte del suelo estabilizado con el polímero acrílico reticulado?
- ¿Se puede comparar la alternativa del suelo estabilizado usando el polímero acrílico reticulado con suelos sin estabilizar y con pavimentos tradicionales en referencia a la capacidad de soporte del mismo?
- ¿Cuáles son los beneficios económicos y sociales en el Distrito de Yura con el uso del polímero acrílico reticulado en la Avenida Las Torres?

1.1.3. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

La presente investigación tiene como finalidad la de comprobar si es una alternativa viable el método de estabilización con el polímero acrílico reticulado y el uso del mismo como para de rodadura para un camino no pavimentado. Así mismo comprobar si la alternativa de estabilización y uso como capa de rodadura es una opción competitiva en cuanto a su comparación de caminos no pavimentados e incluso con caminos pavimentados de maneras ya conocidas.

1.1.4. LIMITACIONES Y RESTRICCIONES DE LA INVESTIGACIÓN

- La principal limitación es la falta de conocimiento de este polímero como alternativa para la construcción de vías, por esta falta de conocimiento es que no se opte por una solución diferente e innovadora.
- Para la elaboración del plan de tesis, la obtención del Polímero es una limitación, ya que al no ser muy conocido en nuestro país, no está totalmente disponible en un mercado inmediato.
- Para la obtención de resultados en la tesis, el uso de laboratorio es también una limitación, ya que, el polímero no ha sido fin de estudio en nuestro medio.
- Al no haber sido estudiado a menudo en el medio, el diseño para el uso del mismo no es muy conocido, siendo esta otra limitación para la elaboración de la Tesis.

1.1.5. ALCANCES DE LA INVESTIGACIÓN

El ámbito espacial de la investigación es la Avenida Las Torres en la zona de Ciudad de Dios que pertenece al Distrito de Yura, Provincia y Departamento de Arequipa.

1.2. OBJETIVO DE LA INVESTIGACIÓN

1.2.1. OBJETIVO GENERAL

Demostrar que es posible el uso del polímero acrílico reticulado en la estabilización y capa de rodadura para caminos de bajo y mediano volumen de tránsito.

1.2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Obtener una clasificación de suelos, así como determinar el uso de este polímero para cualquier tipo de suelos.
- Obtener y estudiar experimentalmente las propiedades físicas y químicas del suelo estabilizado con el polímero acrílico reticulado.
- Medir la capacidad de soporte del suelo estabilizado con el polímero acrílico reticulado y compararla con suelos sin estabilizar y con pavimentos tradicionales.
- Conocer los beneficios económicos y sociales para el Distrito de Yura con el uso del polímero acrílico reticulado en la Av. Las Torres.

1.3. HIPÓTESIS

El uso del polímero acrílico reticulado con fines de estabilización y como superficie de rodadura, es una opción viable para un camino de bajo volumen

de tránsito en el distrito de Yura, ya que el uso del mismo refuerza la estructura del suelo, ayuda a reducir el impacto ambiental y es económicamente más accesible, al no tener que pensar en el transporte desde la cantera de asfalto hacia la ubicación del proyecto.

1.4. VARIABLES

1.4.1. VARIABLE DEPENDIENTE

- Mayor capacidad de soporte del suelo
- Menores costos
- Menor impacto ambiental

1.4.2. VARIABLE INDEPENDIENTE

El uso del polímero acrílico reticulado para estabilizar la vía y como superficie de rodadura para un camino de bajo y mediano volumen de tránsito.

CAPITULO II

2. FUNDAMENTOS TEORICOS DE LA INVESTIGACION

2.1.EL SUELO

2.1.1. DEFINICION DE SUELO EN PAVIMENTOS

El suelo es el soporte de la estructura de pavimento y representa uno de los problemas más complejos de modelar y predecir su comportamiento debido a que se ve afectado por muchos factores. El efecto del suelo influye en la definición del trazo y las dimensiones de la estructura de pavimento, así como también los trabajos de mantenimiento que serán requeridos durante la vida útil del pavimento.

El suelo de fundación proporciona una parte sustancial de la capacidad general del sistema estructural del pavimento, especialmente para los pavimentos flexibles. Los esfuerzos generados por las cargas de tráfico son mayores en las capas superiores, y disminuye con la profundidad, por consiguiente, los materiales de mayor calidad y por lo general de mayor costo son utilizados en las capas superiores del pavimento, y los de menor calidad y menor costo se utilizan para las capas más profundas de la estructura.

Esta optimización del uso de materiales reduce los costos de construcción y maximiza la capacidad de utilizar materiales disponibles localmente. Sin embargo, este enfoque también requiere una mayor atención a las capas de menor calidad en el diseño (el suelo de fundación) con el fin de reducir los costos del ciclo de vida del pavimento, ya que las capas superiores

deberían ser las únicas que requieran mantenimiento o reemplazo a lo largo de la vida útil del pavimento.

Para el diseño del pavimento se requiere, en primer término, conocer las propiedades de los suelos que servirán como suelo de fundación y subrasante pudiendo ser naturales o transportados como es el caso de los rellenos. Tal como se aprecia en la siguiente figura algunas secciones pueden ser en corte y relleno de tal manera que la estructura de pavimento es soportada parcialmente en materiales de préstamo y la otra parte en suelo natural.

2.1.2. TIPOS DE SUELOS

Existen dos clasificaciones para los tipos de suelo, una según su estructura y otra de acuerdo a sus formas físicas.

a) Por funcionalidad

- ✓ Suelos arenosos: No retienen el agua, tienen muy poca materia orgánica y no son aptos para la agricultura.
- ✓ Suelos calizos: Tienen abundancia de sales calcáreas, son de color blanco, seco y árido, y no son buenos para la agricultura.
- ✓ Suelos humíferos (tierra negra): Tienen abundante materia orgánica en descomposición, de color oscuro, retienen bien el agua y son excelentes para el cultivo.
- ✓ Suelos arcillosos: Están formados por granos finos de color amarillento y retienen el agua formando charcos. Si se mezclan con humus pueden ser buenos para cultivar.
- ✓ Suelos pedregosos: Formados por rocas de todos los tamaños, no retienen el agua y no son buenos para el cultivo.

- ✓ Suelos mixtos: Tiene características intermedias entre los suelos arenosos y los suelos arcillosos.

b) Por características físicas

- ✓ Litosoles: Se considera un tipo de suelo que aparece en escarpas y afloramientos rocosos, su espesor es menor a 10 cm y sostiene una vegetación baja, se conoce también como leptosoles que viene del griego leptos que significa delgado.
- ✓ Cambisoles: Son suelos jóvenes con proceso inicial de acumulación de arcilla. Se divide en vértigos, gleycos, eutrícos y crómicos.
- ✓ Luvisoles: Presentan un horizonte de acumulación de arcilla con saturación superior al 50%.
- ✓ Acrisoles: Presentan un marcado horizonte de acumulación de arcilla y bajo saturación de bases al 50%.
- ✓ Gleysoles: Presentan agua en forma permanente o semipermanente con fluctuaciones de nivel freático en los primeros 50 cm.
- ✓ Fluvisoles: Son suelos jóvenes formados por depósitos fluviales, la mayoría son ricos en calcio.
- ✓ Rendzina: Presenta un horizonte de aproximadamente 50 cm de profundidad. Es un suelo rico en materia orgánica sobre roca caliza.
- ✓ Vertisoles: Son suelos arcillosos de color negro, presentan procesos de contracción y expansión, se localizan en superficies de poca pendiente y cercanos escurrimientos superficiales.

2.1.3. COMPOSICION DE SUELOS

Los componentes del suelo se pueden dividir en sólidos, líquidos y gaseosos.

a) Sólidos

Este conjunto de componentes representa lo que podría denominarse el esqueleto mineral del suelo. Y entre estos, componentes sólidos, del suelo destacan:

- ✓ Silicatos, tanto residuales o no completamente meteorizados, (micas, feldspatos, y fundamentalmente cuarzo).
 - Como productos no plenamente formados, singularmente los minerales de arcilla, (caolinita, illita, etc.).
- 1. Óxidos e hidróxidos de Fe (hematites, limonita, goethita) y de Al (gibbsita, boehmita), liberados por el mismo procedimiento que las arcillas.
- ✓ Clastos y granos poliminerales como materiales residuales de la alteración mecánica y química incompleta de la roca originaria.
- ✓ Otros diversos compuestos minerales cuya presencia o ausencia y abundancia condicionan el tipo de suelo y su evolución.
 - Carbonatos (*calcita, dolomita*).
 - Sulfatos (*aljez*).
 - Cloruros y nitratos.

- ✓ Sólidos de naturaleza orgánica o complejos órgano-minerales, la materia orgánica muerta existente sobre la superficie, el humus o mantillo:
 - Humus joven o bruto formado por restos distinguibles de hojas, ramas y restos de animales.
 - Humus elaborado formado por sustancias orgánicas resultantes de la total descomposición del humus bruto, de un color negro, con mezcla de derivados nitrogenados (amoníaco, nitratos), hidrocarburos, celulosa, etc. Según el tipo de reacción ácido-base que predomine en el suelo, éste puede ser ácido, neutro o alcalino, lo que viene determinado también por la roca madre y condiciona estrechamente las especies vegetales que pueden vivir sobre el mismo.

b) Líquidos

Esta fracción está formada por una disolución acuosa de las sales y los iones más comunes como Na⁺, K⁺, Ca²⁺, Cl⁻, NO₃⁻,... así como por una amplia serie de sustancias orgánicas. La importancia de esta fase líquida en el suelo estriba en que éste es el vehículo de las sustancias químicas en el seno del sistema.

El agua en el suelo puede estar relacionada en tres formas diferentes con el esqueleto sólido:

- ✓ La primera, está constituida por una partícula muy delgada, en la que la fuerza dominante que une el agua a la partícula sólida es de carácter molecular, y tan sólida que esta agua solamente puede eliminarse del suelo en hornos de alta temperatura. Esta parte del agua no es aprovechable por el sistema radicular de las plantas.

- ✓ La segunda es retenida entre las partículas por las fuerzas capilares, las cuales, en función de la textura pueden ser mayores que la fuerza de la gravedad. Esta porción del agua no percola, pero puede ser utilizada por las plantas.
- ✓ Finalmente, el agua que excede al agua capilar, que en ocasiones puede llenar todos los espacios intersticiales en las capas superiores del suelo, con el tiempo percola y va a alimentar los acuíferos más profundos. Cuando todos los espacios intersticiales están llenos de agua, el suelo se dice saturado.

c) Gases

La fracción de gases está constituida fundamentalmente por los gases atmosféricos y tiene gran variabilidad en su composición, por el consumo de O_2 , y la producción de CO_2 dióxido de carbono. El primero siempre menos abundante que en el aire libre y el segundo más, como consecuencia del metabolismo respiratorio de los seres vivos del suelo, incluidas las raíces y los hongos. Otros gases comunes en suelos con mal drenaje son el metano (CH_4) y el óxido nitroso (N_2O).

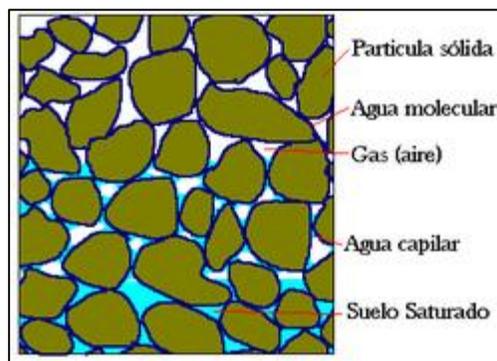


Figura 2-1: Composición del Suelo

2.1.4. DESCRIPCION DE LOS SUELOS

Los suelos encontrados serán descritos y clasificados de acuerdo a la metodología para construcción de vías, la clasificación se efectuara obligatoriamente por AASHTO Y SUCS, se utilizaran los signos mencionados de los cuadros que se presentan a continuación:

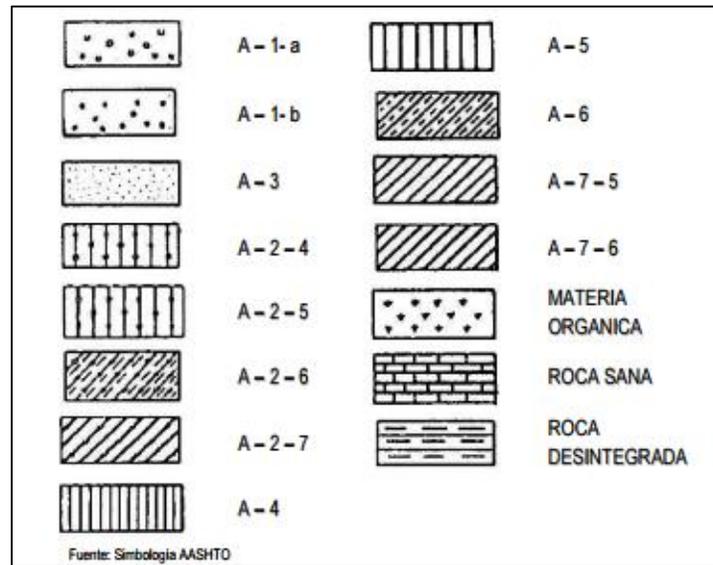


Figura 2-2: Signos convencionales para Perfil de Calicatas – Clasificación AASHTO

	Grava bien graduada mezcla, grava con poco o nada de material fino, variación en tamaños granulares.		Materiales finos sin plasticidad o con plasticidad muy bajo.
	Grava mal granulada, mezcla de arena-grava con poco o nada de material fino.		Arena arcillosa, mezcla de arena-arcilla.
	Grava limosa, mezcla de grava, arena limosa.		Limo orgánico y arena muy fina, polvo de roca, arena fina limosa o arcillosa o limo arcilloso con ligera plasticidad.
	Grava arcillosa, mezcla de grava-arena-arcilla; grava con material fino cantidad apreciable de material fino.		Limo orgánico de plasticidad baja o mediano, arcilla grava, arcilla arenosa, arena limosa, arcilla magra.

	Arena bien graduada, arena con grava, poco o nada de material fino. Arena limpia poco o nada de material fino, amplia variación en tamaños granulares y cantidades de partículas en tamaños intermedios.		Limo orgánico y arcilla limosa orgánica, baja plasticidad.
	Arena mal graduada con grava poco o nada de material fino. Un tamaño predominante o una serie de tamaños con ausencia de partículas intermedios.		Limo inorgánico, suelo fino gravoso o limoso, micácea o diatometacea, limo elástico.

	Arcilla inorgánica de elevada plasticidad, arcilla gravosa.
	Arcilla orgánicas de mediana o elevada plasticidad, limo orgánico.
	Turba, suelo considerablemente orgánico.

Figura 2-3: Signos convencionales para Perfil de Calicatas – Clasificación SUCS

Las propiedades fundamentales a tomar en cuenta son:

- a) **Granulometría:** representa la distribución de los tampos que posee el agregado mediante el tamizado según especificaciones técnicas (Ensayo MTC E 107). A partir de la cual se pueden estimar, con mayor o menor aproximación, las demás propiedades que pudieran interesar.

El análisis granulométrico de un suelo tiene por finalidad determinar la proporción de sus diferentes elementos constituyentes, clasificados en función de su tamaño.

De acuerdo al tamaño de las partículas de suelo, se definen los siguientes términos:

Tipo de Material		Tamaño de las partículas
Grava		75 mm – 4,75 mm
Arena		Arena Gruesa: 4,75 mm – 2,00 mm
		Arena Media: 2,00 mm – 0,425 mm
		Arena Fina: 0,425 mm – 0,075 mm
Material Fino	Limo	0,075 mm – 0,005 mm
	Arcilla	Menor a 0,005 mm

Tabla 2-1: Clasificación de suelos según Tamaño de partículas

b) Plasticidad: es la propiedad de estabilidad que representa los suelos hasta cierto límite de humedad son disgregarse, por tanto la plasticidad de un suelo depende, no de los elementos gruesos que contiene, sino únicamente de sus elementos finos. El análisis granulométrico no permite apreciar esta característica, por lo que es necesario determinar los límites de Atterberg.

Los límites de Atterberg establecen cuan sensible es el comportamiento de un suelo en relación con su contenido de humedad (agua), definiéndose los límites correspondientes a los tres estadios de consistencia según su humedad y de acuerdo a ello puede presentarse un suelo: líquido, plástico o sólido. Estos límites de Atterberg que piden la cohesión del suelo son: el límite líquido (LL, según ensayo MTC E 110), el límite plástico (LP, según ensayo MTC E 111) y el límite de contracción (LC, según ensayo MTC E 112).

Limite Líquido (LL), cuando el suelo pasa del estado semilíquido a un estado plástico y puede moldearse.

Limite Plástico (LP), cuando el suelo pasa de un estado plástico a un estado semisólido y se rompe.

Límite de contracción (retracción), cuando el suelo pasa de un estado semisólido a un estado sólido y deja de contraerse al perder humedad.

Además del LL y del LP, una característica a obtener es el índice de plasticidad IP (ensayo MTC E 111) que se define como la diferencia entre LL y LP.

El índice de plasticidad indica la magnitud del intervalo de humedades en el cual el suelo posee consistencia plástica y permite clasificar bastante bien un suelo. Un IP grande corresponde a un suelo muy arcilloso, por el contrario, un IP pequeño es característico de un suelo poco arcilloso. En tal sentido, el suelo en relación a su índice de plasticidad puede clasificarse según lo siguiente:

Índice de Plasticidad	Plasticidad	Características
IP > 20	Alta	Suelos muy arcillosos
IP ≤ 20 IP > 7	Media	Suelos arcillosos
IP < 7	Baja	Suelos poco arcillosos plasticidad
IP = 0	No plástico	Suelos exentos de arcilla

Tabla 2-2: Clasificación de suelos según Índice de Plasticidad

Se debe tener en cuenta que, en un suelo el contenido de arcilla, de acuerdo a su magnitud puede ser un elemento riesgoso en un suelo de sub rasante y en una estructura de pavimento, debido sobre todo a su gran sensibilidad al agua.

- c) **Equivalente Arena:** es la proporción relativa del contenido de polvo fino nocivo o material arcilloso en suelos o agregados finos (ensayo MTC E 114). Es el ensayo que da resultados parecidos a los obtenidos mediante la determinación de los límites de Atterberg aunque menos preciso. Tiene la ventaja de ser muy rápido y fácil de efectuar.

El valor de Equivalente Arena (EA) es un indicativo de la plasticidad del suelo:

Equivalente de Arena	Característica
Si $EA > 40$	El suelo no es plástico, es arena
Si $40 > EA > 20$	El suelo es poco plástico y no heladizo
Si $EA < 20$	El suelo es plástico y arcilloso

Tabla 2-3: Clasificación de suelos según Equivalente de Arena

Fuente: Ministerio de Transportes y Comunicaciones .Manual De Ensayos De Materiales Para Carreteras (EM-2000).

- d) **Índice de Grupo:** es un índice normado por AASHTO de uso corriente para clasificar suelos, está basado en gran parte en los límites de Atterberg. El índice de grupo de un suelo se define mediante la fórmula:

$$I_g = 0.2(a) + 0.005(ac) + 0.01(bd)$$

Dónde:

a = F-35 (F= fracción del porcentaje que pasa el tamiz N°200 – 74 micras). Expresado por un número positivo comprendido entre 1 y 40.

b = F-15 (F= fracción del porcentaje que pasa el tamiz N°200 – 74 micras). Expresado por un número entero positivo comprendido entre 1 y 40.

c = LL – 40 (LL = Limite Líquido). Expresado por un número entero comprendido entre 0 y 20.

d = IP – 10 (IP= Índice plástico). Expresado por un número entero comprendido entre 0 y 20 o más.

El índice de Grupo es un valor entero positivo, comprendido entre 0 y 20 o más. Cuando el IG calculando es negativo, se reporta como cero. Un índice cero significa un suelo muy bueno y un índice \geq a 20, un suelo no utilizable para caminos.

Índice de Grupo	Características
IG > 9	Inadecuado
IG está entre 4 a 9	Insuficiente
IG está entre 2 a 4	Regular
IG está entre 1 a 2	Bueno
IG está entre 0 a 1	Muy Bueno

Tabla 2-4: Clasificación de suelos según Índice de Grupo

- e) **Humedad Natural:** otra característica importante de los suelos en su humedad natural; puesto que la resistencia de los suelos de sub rasante, en especial de los finos, se encuentra directamente asociada con las condiciones de humedad y densidad que estos suelos presenten.

La determinación de la humedad natural (ensayo MTC E 108) permitirá comparar con la humedad óptima que se obtendrá en los

ensayos Proctor para obtener el CBR del suelo (Ensayo MTC E 132). Si la humedad natural resulta igual o inferior a la humedad optima, el proyectista propondrá la compactación normal del suelo y el aporte de la cantidad conveniente de agua. Si la humedad natural es superior a la humedad optima y según la saturación del suelo, se propondrá, aumentar la energía de compactación, airear el suelo, o reemplazar el material saturado.

- f) Clasificación de los suelos:** determinadas las características de los suelos, según los acápites anteriores, se podrá estimar con suficiente aproximación el comportamiento de los suelos, especialmente con el conocimiento de la granulometría, plasticidad e índice de grupo; y luego clasificar los suelos.

La clasificación de los suelos se efectuara bajo el sistema mostrado en la tabla 2-4. Esta clasificación permite predecir el comportamiento aproximado de los suelos, que contribuía a delimitar los sectores homogéneos desde el punto de vista geotécnico.

A continuación se presenta una correlación de los dos sistemas de clasificación más difundidos, AASHTO Y ASTM (SUCS):

Clasificación de Suelos AASHTO M -145	Clasificación de Suelos SUCS ASTM – D-2487
A-1-a	GW, GP, GM, SW, SP, SM
A-1-b	GM, GP, SM, SP
A-2	GM, GC, SM, SC
A-3	SP

A-4	CL, ML
A-5	ML, MH, CH
A-6	CL, CH
A-7	OH, MH, CH

Tabla 2-5: Correlación de Tipos de suelos AASHTO – SUCS

Fuente: Ministerio de Transportes y Comunicaciones .Manual De Ensayos De Materiales Para Carreteras (EM-2000).

Para complementar la información se presenta el cuadro 4.10, que muestra la clasificación de los suelos basada en AASHTO M 145 y/o ASTM D 3282.

Clasificación general	Materiales granulares (35% o menos pasa el tamiz #200)							Materiales limoarcillosos (más de 35% pasa el tamiz #200)			
	A-1		A-3 ^A	A-2				A-4	A-5	A-6	A-7 A-7-5 A-7-6
	A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7				
Tamizado, % que pasa											
No. 10 (2.00mm)	50 máx.	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
No. 40 (425µm)	30 máx.	50 máx.	51 mín.	...	...	...	...	...	...	...	...
No. 200 (75µm)	15 máx.	25 máx.	10 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	36 mín.	36 mín.	36 mín.
Consistencia											
Límite líquido	...		...	B				40 máx.	41 mín.	40 máx.	41 mín.
Índice de plasticidad	6 máx.		N.P.	B				10 máx.	10 máx.	11 mín.	11 mín. ^B
Tipos de materiales característicos	Cantos, grava y arena		Arena fina	Grava y arena limoarcillosas				Suelos limosos		Suelos arcillosos	
Calificación	Excelente a bueno							Regular a malo			

^A La colocación de A3 antes de A2 en el proceso de eliminación de izquierda a derecha no necesariamente indica superioridad de A3 sobre A2.

^B El índice de plasticidad del subgrupo A-7-5 es igual o menor que LL-30. El índice de plasticidad del subgrupo A-7-6 es mayor que LL-30.

Tabla 2-6: Clasificación de los suelos basada en AASHTO M 145 y/o ASTM D 3282

Fuente: Ministerio de Transportes y Comunicaciones .Manual De Ensayos De Materiales Para Carreteras (EM-2000).

Además del cuadro que muestra la clasificación de los suelos en el Sistema SUCS.

SISTEMA UNIFICADO DE CLASIFICACION DE SUELOS (SUCS) ASTM D 2487							
Criterios para la asignación de símbolos de grupo y nombre de grupo con el uso de ensayos de laboratorio			Clasificación de suelos				
			Símbolo de grupo	Nombre del grupo			
Suelos de partículas gruesas mas del 50% es retenido en la malla No. 200	Gravas Mas del 50% de la fracción gruesa es retenida en la malla No. 4	Gravas limpias Menos del 5% pasa la malla No. 200	$Cu \geq 4$ y $1 \leq Cc \leq 3$	GW	Grava bien graduada		
			$Cu < 4$ y $1 > Cc > 3$	GP	Grava mal graduada		
		Gravas con finos Mas del 12% pasa la malla No. 200		$IP < 4$ o debajo de la línea "A" en la carta de plasticidad	GM	Grava limosa	
				$IP > 7$ o arriba de la línea "A" en la carta de plasticidad	GC	Grava arcillosa	
		Gravas limpias y con finos Entre el 5 y 12% pasa malla No.200		Cumple los criterios para GW y GM	GW-GM	Grava bien graduada con limo	
				Cumple los criterios para GW y GC	GW-GC	Grava bien graduada con arcilla	
				Cumple los criterios para GP y GM	GP-GM	Grava mal graduada con limo	
				Cumple los criterios para GP y GC	GP-GC	Grava mal graduada con arcilla	
	Arenas El 50% o mas de la fracción gruesa pasa la malla No. 4	Arenas limpias Menos del 5% pasa la malla No. 200		$Cu \geq 6$ y $1 \leq Cc \leq 3$	SW	Arena bien graduada	
				$Cu < 6$ y $1 > Cc > 3$	SP	Arena mal graduada	
		Arenas con finos Mas del 12% pasa la malla No. 200		$IP < 4$ o debajo de la línea "A" en la carta de plasticidad	SM	Arena limosa	
				$IP > 7$ o arriba de la línea "A" en la carta de plasticidad	SC	Arena arcillosa	
			Arenas limpias y con finos Entre el 5 y 12% pasa malla No.200		Cumple los criterios para SW y SM	SW-SM	Arena bien graduada con limo
					Cumple los criterios para SW y SC	SW-SC	Arena bien graduada con arcilla
Suelos de partículas finas El 50% o mas pasa la malla No. 200	Limos y arcillas Limite Liquido menor que 50	Inorgánicos	$IP > 7$ y se grafica en la carta de plasticidad arriba de la línea "A"	CL	Arcilla de baja plasticidad		
			$IP < 4$ y se grafica en la carta de plasticidad abajo de la línea "A"	ML	Limo de baja plasticidad		
	Orgánicos	Limite liquido - secado al horno	< 0.75		OL	Arcilla orgánica	
		limite liquido - no secado				Limo orgánico	
	Limos y arcillas Limite Liquido mayor que 50	Inorgánicos		$IP > 7$ y se grafica en la carta de plasticidad arriba de la línea "A"	CH	Arcilla de alta plasticidad	
				$IP < 4$ y se grafica en la carta de plasticidad abajo de la línea "A"	MH	Limo de alta plasticidad	
		Orgánicos	Limite liquido - secado al horno	< 0.75		OH	Arcilla orgánica
			limite liquido - no secado				Limo orgánica
	Suelos altamente orgánicos	Principalmente materia orgánica de color oscuro			PT	Turba	

Tabla 2-7: Clasificación de los suelos basada en SUCS

g) Ensayos CBR: (ensayo MTC E 132), una vez que se haya clasificado los suelos por el sistema AASHTO y SUCS, para caminos contemplados en este manual, se elaborara un perfil estratigráfico para cada sector homogéneo o tramo en estudio, a partir del cual se determinara el programa de ensayos para establecer el CBR que es el valor soporte o resistencia del suelo, que estará referido al 95% de la MDS (Máxima Densidad Seca) y a una penetración de carga de 2.54 mm.

Para la obtención del valor CBR de diseño de la subrasante, se debe considerar lo siguiente:

- En los sectores con 6 o más valores de CBR realizados por tipo de suelo representativo o por sección de características homogéneas de suelo, se determinara el valor de CBR de diseño de la subrasante considerando el promedio del total de los valores analizados por sector de características homogéneas.
- En los sectores con menos de 6 valores de CBR realizados por tipo de suelo representativo o por sección de características homogéneas de suelos, se determinara el valor de CBR de diseño de la subrasante en función a los siguientes criterios:
 - Si los valores son parecidos o similares, tomar el valor promedio.
 - Si los valores no son parecidos o no son similares, tomar el valor crítico (el más bajo) o en todo caso subdividir la sección a fin de agrupar subsectores con valores de CBR parecidos o similares y definir el valor promedio. La longitud de los subsectores no será menor a 100m.
Son valores de CBR parecidos o similares los que se encuentran dentro de un determinado rango de categoría de subrasante, según la tabla mostrada al final de la presente sección.
- Una vez definido el valor del CBR de diseño, para cada sector de características homogéneas, se clasificara a que

categoría de subrasante pertenece el sector o subtramo, según lo siguiente:

Categorías de Subrasante	CBR
S0: Subrasante inadecuada	CBR < 3%
S1: Subrasante Insuficiente	De CBR ≥ 3 %
S2: Subrasante Regular	De CBR ≥ 6% A CBR < 10%
S3: Subrasante Buena	De CBR ≥ 10% A CBR < 20%
S4: Subrasante Muy Buena	De CBR ≥ 20% A CBR < 30%
S5: Subrasante Excelente	CBR ≥ 30%

Tabla 2-8: Categorías de Subrasante

h) Ensayo de módulo Resiliente: el método de diseño de pavimentos predominante en nuestro medio, es el correspondiente a la metodología AASHTO 1993 y el parámetro de importancia requerido por dicha metodología es el Modulo Resiliente (Mr) o Elástico del material que conforma el par Pavimento-Subrasante.

Debido a lo especializado en la realización del ensayo de Modulo Resiliente, se cuenta con las publicaciones Desing Pamphlet for the determination of Design Subgrde in support of the 1993 AASHTO Guide for de Desing Paviment Structures (publicación NFHWA-RD-97-083) y Design Pamphlet for the Determination of

Layered Elastic Modulifor Flexible Pavement Design in Support of the 1993 AASHTO, recomendó para esa edición de 1993 el uso de una correlación Mr-CBR, solo para casos de suelos finos y CBR < 10% obtenido por el método del Cuerpo de Ingenieros USA.

En décadas pasadas y a nivel mundial diversos investigadores hallaron para diferentes tipos de suelos, correlaciones aplicables a su propia realidad y que algunos diseñadores las adoptaron. Una de estas correlaciones es la planteada por TRRL en 1983 para valores de CBR entre 2% a 12%, la misma que se contempló utilizar en el proyecto NCHRP 1-37^a, pero que evaluada a través del proyecto 1-40^a del mismo programa NCHRP. Se cuestionó su confiabilidad debido al procedimiento seguido en su determinación (técnicas de propagación de ondas⁹ por lo que no es tomada en cuenta en la última edición de la guía AASHTO-2008 (manual MEPDG), recomendándose más bien (Tabla 11-10) valores característicos de Mr de acuerdo al tipo de suelo.

Para fines de diseño de pavimentos nuevos, se deben obtener el respectivo Modulo Resilente (Mr) mediante el desarrollo del Enato en laboratorio en vez del uso de correlaciones debido a que sus resultados son muy sensibles a los factores relacionados a las propiedades del suelo y procedimientos de ensayo CBR y por ende tendrían un gran sesgo, por lo que la tendencia de las instituciones especializadas en el tema inciden más en el desarrollo del ensayo del Módulo Resilente; otra opción a sopesar desde el punto de vista de ingeniería es la adopción de valores típicos del MR según las características del suelo o material en estudio.

Para ejecutar el ensayo de Modulo Resilente se utilizara la norma MTC E 128 (AASHTO T274). El módulo Resilente es una medida de la propiedad elástica de suelos, reconociéndoles ciertas características no lineales. El Modulo Resilente se usa directamente en el diseño de pavimentos flexibles; y, para el diseño de pavimentos rígidos, debe convertirse a módulo de reacción de la subrasante (valor K).

2.2. EL PAVIMENTO

2.2.1. HISTORIA DE LOS PAVIMENTOS

Los caminos se originan cuando el hombre deja de ser nómada y requiere conectarse con otros grupos humanos para intercambiar objetos o alimentos. Cuando estos senderos empiezan a ser muy transitados surge la necesidad de mejorar algunas de sus características tales como el ancho, la superficie y el paso de cursos de agua. Sin embargo es a partir de la aparición de los vehículos de arrastre y rodadura que se da la gran transformación de los caminos de simple senderos a vías con mejores condiciones de superficie de rodadura, geometría y seguridad.

Se tienen evidencias de caminos de hace más de seis mil años en la zona de Cáucaso y del golfo pérsico que al ser caminos para vehículos con ruedas fueron dotados de gradientes adecuadas, superficies más lisas y mayores anchos. Sin embargo, es con el imperio romano que en el año 321 a.c., que los pavimentos alcanzan un alto nivel puesto que fue desarrollado un sistema vial que les permitió comunicaciones rápidas y seguras en especial por razones militares, estableciendo diferentes categorías de vías, postas y un sistema eficiente de mantenimiento. Las calzadas eran de 5 a 6 m, con 4.5 m la calzada central para el paso de los

vehículos llegando a desarrollar una red de 90,000 kilómetros (Escario, 1949) tal como se aprecia en la siguiente figura.



Figura 2-4: Caminos Romanos

En Europa los caminos luego de la caída del imperio romano, por lo general, se encontraban en mal estado, hasta el siglo XVIII donde los estados empiezan a organizar sistemas de transporte terrestre invirtiendo en el mejoramiento de caminos; a finales del siglo XIX con el desarrollo de los vehículo a motor se aborda el problema de las carreteras de manera más científica y organizada.

En el Perú los primeros caminos construidos con ciertas técnicas fueron los realizados por los Huaris en la sierra y los Mochicas y Chimús en la costa; sin embargo, fueron los Incas quienes integraron los caminos en un sistema vial; el cual permitió la circulación de personas ya animales. Estos caminos comprendían también las obras de arte necesarias para atravesar ríos y quebradas y estaban dotados de tambos ubicados entre aproximadamente 15 a 35 km. Se estima que alcanzaron una longitud de 25,000 kilómetros compuestos por dos grandes caminos longitudinales norte a sur uno en la costa y el otro en la sierra y varios caminos

longitudinales (este-oeste) que conectaban los calles costeros con la sierra (Gallegos, 2000).

La red vial del Perú en la época de la colonia no mejoró sensiblemente y se mantuvieron muchos de los caminos incas y pre incas. En los primeros años de la republica la red de caminos empeoro notablemente, situación que cambio durante el “oncenio” de Leguía ya que con la llegada de los vehículos a motor la red carretera se constituyó en una prioridad, esta fue atendida a través de una ley de conscripción vial. En los años treinta, Benavides construyo la Carretera Panamericana y se restableció la comunicación de valle en valle por la costa, atravesando los desiertos, algo que se había perdido durante la colonia.

En EE.UU., en 1858, el asfalto es utilizado por primera vez como un material para proteger la superficie de rodadura; en 1870 en Newark, New Jersey, se construye la primera vía con asfalto y en 1876 se coloca la primera carpeta asfáltica en la avenida Pensilvania en Washington D.C. elaborado con asfalto proveniente del Lago Trinidad.

Los primeros tramos de pavimentos de concreto fueron construidos en Escocia en 1865 (Croney and Croney, 1997) mientras que en EE.UU. el primer tramo de concreto fue construido en 1893 en Bellefontaine, Ohio, posteriormente en 1908 se construyó otro tramo en Detroit, Michigan.

Los métodos de diseño del pavimento evolucionaron con la ejecución de pistas de prueba, siendo la primera construida en 1952 en Maryland donde se ensayaron pavimentos de concreto. Esta pista de prueba estaba compuesta por dos carriles de 3.66 m de ancho con espesores de losa de 7 en el medio y 9 pulgadas en el borde las losas tenían malla de refuerzo. Se tuvieron 4 secciones de prueba de entre 0,5 a 0,6 millas.

Las losas fueron sometidas a ejes tándem de cargas de 32000 libras y 44800 libras.

Posteriormente, WASHO ensayo en 1955 una pista de pruebas ubicada en Idaho similar a la de Maryland pero conformada por secciones de pavimento flexible. Estaba conformada por dos circuitos cada uno de 580 m, con tramos de prueba de 300 pies separadas cada sección por 30 pies.

Se probaron secciones con superficies de rodadura de 2 y 4 pulgadas de mezcla asfáltica en caliente apoyadas en bases granulares de 2 y 4 pulgadas y sub bases de 0, 4, 8, 12 y 16 pulgadas. Las cargas aplicadas fueron en un circuito 18000 en el carril interior y 22400 libras en el carril exterior, y en segundo circuito cargas tándem de 32000 libras en el carril interior y de 40000 en el carril exterior.

Entre 1956 y 1960 AASHTO (Highway Reserch Board, 1962) construyo y ensayo varias pistas de pruebas conformadas por secciones tanto de pavimentos rígidos como flexibles dando lugar en su momento a la mayor base de datos experimentales que permitieron el desarrollo del metro de diseño de AASHTO y las primeras versiones del método de diseño del instituto del asfalto. El ensayo estuvo conformado por cuatro circuito grandes numerados del 3 al 6 de 6 (cuyos tramos tangentes median 2070 m) y dos circuitos pequeños numerados 1 y 2 (con tramos tangentes de 610 y 1340 m correspondientemente). Los carriles en dirección norte fueron construidos con concreto asfaltico en caliente y en dirección sur con losas de concreto simple. Las cargas aplicadas por eje simple estaban comprendidas entre 2000 a 30000 libras, mientras que las cargas de ejes tándem entre 24000 a 48000 libras. El ensayo termino cuando se alcanzó un número de 1'140000 ejes aplicados.

La importancia de esta pista de prueba ha sido muy grande porque permitió desarrollar el método de diseño AASHTO con varias versiones siendo la última publicada el año 1993 (AASHTO 1993) con una modificación publicada en 1998. El método del MTC para el diseño de los pavimentos de la red vial nacional está basado en este método (MTC 2013).

En 1987 se inicia en EEUU el SHRP (Strategic Highway Research Program), y como aporte de este programa se realiza el LTPP que es un estudio a largo plazo de vías en servicio en 2400 secciones de pavimentos de asfalto y concreto en EE.UU. y Canadá (Stubstad et al., 2002). Este programa permitió el desarrollo del sistema de diseño de mezclas SUPERWAVE. La información que ha venido siendo medida en dichas secciones se encuentra disponible en línea, proporcionando información a investigadores para analizar la efectividad y comportamiento de las soluciones implementadas en los nueve tipos de pavimentos que forman parte del sistema y los 9 experimentos específicos.

Otros ensayos experimentales en pistas de prueba que han sido realizados son: West Track en Nevada (1997), NCAT en Alabama (2002), MNRoad en Minnesota (2007), CAPTIF en Nueva Zelanda (1996) y TRL en Inglaterra (1996).

Adicionalmente se deben considerar los ensayos de pistas de prueba a escala, dentro o fuera de instalaciones, donde las cargas de los vehículos son simuladas mediante sistemas de carga controlada, este tipo de ensayos de escala real se vienen ejecutando desde el año 1940. Con la posibilidad de incorporar en el proceso de medicino sensores electrónicos

y dispositivos de medición continua este tipo de ensayos ha alcanzado un mayor desarrollo aun.

Existen instalaciones como la del CEDEX, FHWA o el PWRI en las cuales se dispone de instalaciones acondicionadas para reproducir determinadas condiciones ambientales que permiten pruebas con este componente.

Sin embargo, el aporte más importante de los últimos años es el método mecanístico empírico (MEPDG) desarrollado por el NCHRP denominada inicialmente AASHTO 20002. Este método integra el estado del arte en diseño de pavimentos, considerado entre otros aspectos un diseño de acuerdo a la importancia de la vía, el tráfico es ingresado como un espectro de cargas y el diseño se orienta al cumplimiento de indicadores de desempeño entre otras características.

2.2.2. DEFINICIÓN DE PAVIMENTOS

En ingeniería civil, forma parte del firme y es la capa constituida por uno o más materiales que se colocan sobre el terreno natural o nivelado, para aumentar su resistencia y servir para la circulación de personas o vehículos. Entre los materiales utilizados en la pavimentación urbana, industrial o vial están los suelos con mayor capacidad de soporte, los materiales rocosos, el hormigón y las mezclas asfálticas. En la actualidad se encuentra en investigación pavimentos que ayudan al medio ambiente como el formado por noxer.

Una de las primeras formas de pavimentación fue la calzada romana, construida en varias camadas. Esta gran obra de ingeniería logró que

varios tramos hayan resistido durante siglos y se puedan encontrar inclusive hoy.

El pavimento es una estructura de varias capas construida sobre la rasante del camino para resistir y distribuir esfuerzos originados por los vehículos y mejorar las condiciones de seguridad y comodidad para el tránsito. Por lo general está conformada por las siguientes capas: base, subbase y capa de rodadura.

- a) **Capa de rodadura:** es la parte superior de un pavimento, que puede ser de tipo botuminoso (flexible) o de concreto de cemento Portland (rígido) o de adoquines, cuya función es sostener directamente el tránsito.
- b) **Base:** Es una capa inferior a la capa de rodadura, que tiene como principal función de sostener, distribuir y transmitir las cargas ocasionadas por el tránsito. Esta caña será de material granular drenante (CBR \geq 80%) o será tratada como asfalto, cal o cemento.
- c) **Subbase:** es una capa de material especificado y con un espesor de diseño, el cual soporta a la base y a la carpeta. Además se utiliza como capa de drenaje y controlador de la capilaridad del agua. Dependiendo del tipo, diseño y dimensionamiento del pavimento, esta capa puede obviarse. Esta capa puede ser de material granular (CBR \geq 40%) o tratada con asfalto, cal o cemento.

2.2.3. TIPOS DE PAVIMENTOS

Los tipos de pavimentos por su uso se clasifican en peatonales, ciclo vías, carreteras, áreas de estacionamiento, aeropuertos, pavimentos

industriales, y pavimentos de puertos.

Se tienen principalmente los siguientes tipos de pavimentos: asfáltico o flexible, de concreto portland o rígido, compuestos, semirrígidos o segmentados, afirmados y de tierra.

Los pavimentos se denominan flexibles o rígidos por la forma en la que transmiten esfuerzos y deformaciones a las capas inferiores que dependen de la relación de rigideces relativas de las capas. Un pavimento flexible transmite esfuerzos concentrados en una pequeña área, mientras que un pavimento rígido distribuye cada una mayor área. A continuación se detalla cada uno de los tipos de pavimentos.

a) Pavimentos Flexibles: pavimentos compuestos por una o varias capas de mezcla asfáltica en caliente (HMA), o por tratamientos superficiales; dependiendo del espesor de la capa de rodadura se clasifican en:

- superficiales de asfalto, tratamiento o capas no estructurales:
 - Tratamientos superficiales: monocapas (TSM), bicapas (TBM), tricapas.
 - Lechadas/morteros asfálticos o slurryseal.
 - Cape seal
 - Sellos de arena
 - Superficie con agregados de gradación abierta
 - Imprimación reforzada
 - micropavimentos

- Superficies asfálticas con capas estructurales

- Mezcla en frío.
 - Mezcla asfáltica tibia (WMA)
 - Mezcla asfáltica en caliente (HMA)
 - Mezcla asfáltica pigmentada
 - Mezcla asfáltica porosa
 - Mezcla asfáltica en relieve
 - Mezcla asfáltica con asfalto modificado
- Mezclas asfálticas que pueden ser estructuradas de las siguientes formas:
 - Convencionales, conformadas por carpeta de rodadura de mezcla asfáltica, base granular y sub base granular
 - De profundidad parcial, conformada por carpeta de rodadura, base estabilizada o granular y sub base granular o estabilizada.
 - Profundidad total (full depth), todas las capas hasta el nivel de la sub rasante están compuestas por materiales asfálticos.

b) Pavimentos Rígidos: están compuestos por una o varias capas de concreto hidráulico apoyado en capas granulares, pudiendo ser:

- Simple o monolítico (PCP)
- Simple con pasadores o barras de transferencia (dowels) JPCP
- Con refuerzo discontinuo distribuido sin función estructural JRPC
- Con refuerzo continuo sin función estructural CRPC
- Con refuerzo estructural
- Preesforzado

- Concreto en celdas (celular PCP)
- Concreto con agregados expuestos
- Concreto pigmentado
- Concreto poroso
- Concreto estampado
- Concreto rodillado
- Whitetopping

c) Pavimento compuesto: es la unión de dos pavimentos, flexible con refuerzo de pavimento rígido o rígido con refuerzo de pavimento flexible

d) Pavimento semirrígido o segmentado: son pavimentos compuestos por una superficie de rodadura conformada por unidades de piedra, concreto hidráulico, ladrillos o madera que son colocados sobre una capa de arena, apoyada en una o varias capas granulares. Pueden ser del tipo:

- Adoquinados: bloques de arcilla, bloques de piedra, bloques de concreto
- Empedrados
- Emboquillados

e) Superficies estabilizadas: este tipo de pavimentos se adiciona o incluye un material procesado o fabricado cuyo objeto es mejorar las propiedades del material existente. Algunos de estos materiales requieren ciertas condiciones de calidad tales como cantidad de finos o de plasticidad para tener una acción efectiva. Estos materiales estabilizados en algunos casos pueden estar expuestos

directamente al tráfico sobre todo en vías de bajo y medio nivel de tráfico; sin embargo, en la mayoría de casos pasan a formar parte de la estructura como capa de base o sub base o sub rasante mejorada.

- f) Pavimentos afirmados y de tierra:** este tipo de pavimentos tiene una superficie de rodadura conformada por material granular seleccionado (afirmado) o directamente el suelo natural compactado. Este es el tipo de pavimento que usaremos en el proyecto.

2.2.4. CLASIFICACION DE CARRETERAS

Las presentes especificaciones se aplican para el diseño de carreteras con superficie de rodadura de material granular, según correspondan a la clasificación que se establece en el Manual de Diseño Geométrico DG-2013 del MTC del Perú, como sigue:

a) Clasificación por Demanda

- ✓ **Autopistas de Primera Clase:** Son carreteras con IMDA (Índice Medio Diario Anual) mayor a 6000 veh/día, de calzadas divididas por medio de un separador central mínimo de 6,00 m; cada una de las calzadas debe contar con dos o más carriles de 3,60 m de ancho como mínimo, con control total de accesos (ingresos y salidas) que proporcionan flujos vehiculares continuos, sin cruces o pasos a nivel y con puentes peatonales en zonas urbanas.

La superficie de rodadura de estas carreteras debe ser pavimentada.

- ✓ **Autopistas de Segunda Clase:** Son carreteras con un IMDA entre 6000 y 4001 veh/día, de calzadas divididas por medio de un separador central que puede variar de 6,00 m hasta 1,00 m, en cuyo caso se instalará un sistema de contención vehicular; cada una de las calzadas debe contar con dos o más carriles de 3,60 m de ancho como mínimo, con control parcial de accesos (ingresos y salidas) que proporcionan flujos vehiculares continuos; pueden tener cruces o pasos vehiculares a nivel y puentes peatonales en zonas urbanas.

La superficie de rodadura de estas carreteras debe ser pavimentada.

- ✓ **Carreteras de Primera Clase:** Son carreteras con un IMDA entre 4000 y 2001 veh/día, de con una calzada de dos carriles de 3,60 m de ancho como mínimo. Puede tener cruces o pasos vehiculares a nivel y en zonas urbanas es recomendable que se cuente con puentes peatonales o en su defecto con dispositivos de seguridad vial, que permitan velocidades de operación, con mayor seguridad.

La superficie de rodadura de estas carreteras debe ser pavimentada.

- ✓ **Carreteras de Segunda Clase:** Son carreteras con IMDA entre 2000 y 400 veh/día, con una calzada de dos carriles de 3,30 m de ancho como mínimo. Puede tener cruces o pasos vehiculares a nivel y en zonas urbanas es recomendable que se cuente con puentes peatonales o en su defecto con dispositivos de

seguridad vial, que permitan velocidades de operación, con mayor seguridad.

La superficie de rodadura de estas carreteras debe ser pavimentada.

- ✓ **Carreteras de Tercera Clase:** Son carreteras con IMDA menores a 400 veh/día, con calzada de dos carriles de 3,00 m de ancho como mínimo. De manera excepcional estas vías podrán tener carriles hasta de 2,50 m, contando con el sustento técnico correspondiente.

Estas carreteras pueden funcionar con soluciones denominadas básicas o económicas, consistentes en la aplicación de estabilizadores de suelos, emulsiones asfálticas y/o micro pavimentos; o en afirmado, en la superficie de rodadura. En caso de ser pavimentadas deberán cumplirse con las condiciones geométricas estipuladas para las carreteras de segunda clase.

- ✓ **Trochas Carrozables:** Son vías transitables, que no alcanzan las características geométricas de una carretera, que por lo general tienen un IMDA menor a 200 veh/día. Sus calzadas deben tener un ancho mínimo de 4,00 m, en cuyo caso se construirá ensanches denominados plazoletas de cruce, por lo menos cada 500 m.

La superficie de rodadura puede ser afirmada o sin afirmar.

b) Clasificación por su orografía

- ✓ **Terreno plano (tipo 1):** Tiene pendientes transversales al eje de la vía menores o iguales al 10% y sus pendientes longitudinales son por lo general menores de tres por ciento (3%), demandando

un mínimo de movimiento de tierras, por lo que no presenta mayores dificultades en su trazado.

- ✓ **Terreno Ondulado (tipo 2):** Tiene pendientes transversales al eje de la vía entre 11% y 50% y sus pendientes longitudinales se encuentran entre 3% y 6 %, demandando un moderado movimiento de tierras, lo que permite alineamientos más o menos rectos, sin mayores dificultades en el trazado.
- ✓ **Terreno Accidentado (tipo 3):** Tiene pendientes transversales al eje de la vía entre 51% y el 100% y sus pendientes longitudinales predominantes se encuentran entre 6% y 8%, por lo que requiere importantes movimientos de tierras, razón por la cual presenta dificultades en el trazado.
- ✓ **Terreno Escarpado (tipo 4):** Tiene pendientes transversales al eje de la vía superiores al 100% y sus pendientes longitudinales excepcionales son superiores al 8%, exigiendo el máximo de movimiento de tierras, razón por la cual presenta grandes dificultades en su trazado.

2.3. POLIMERO

2.3.1. DEFINICION DE POLIMERO

Los polímeros se definen como macromoléculas compuestas por una o varias unidades químicas (monómeros) que se repiten a lo largo de toda una cadena.

Un polímero es como si uniésemos con un hilo muchas monedas perforadas por el centro, al final obtenemos una cadena de monedas, en donde las monedas serían los monómeros y la cadena con las monedas sería el polímero.

La parte básica de un polímero son los monómeros, los monómeros son las unidades químicas que se repiten a lo largo de toda la cadena de un polímero, por ejemplo el monómero del polietileno es el etileno, el cual se repite x veces a lo largo de toda la cadena.

2.3.2. CLASIFICACION DE POLIMEROS

a) En función de la repetición o variedad de los monómeros, los polímeros se clasifican en:

- **Homopolímero:** Se le denomina así al polímero que está formado por el mismo monómero a lo largo de toda su cadena, el polietileno, poliestireno o polipropileno son ejemplos de polímeros pertenecientes a esta familia.
- **Copolímero:** Se le denomina así al polímero que está formado por al menos 2 monómeros diferentes a lo largo de toda su cadena, el ABS o el SBR son ejemplos pertenecientes a esta familia.

b) La formación de las cadenas poliméricas se producen mediante las diferentes polireacciones que pueden ocurrir entre los monómeros, estas polireacciones se clasifican en:

- Polimerización
- Policondensación
- Poliadicción

- c) En función de cómo se encuentren enlazadas o unidas (enlaces químicos o fuerzas intermoleculares) y la disposición de las diferentes cadenas que conforma el polímero, los materiales poliméricos resultantes se clasifican en:
- Termoplásticos
 - Elastómeros
 - Termoestables
- d) En función de la composición química, los polímeros pueden ser inorgánicos como por ejemplo el vidrio, o pueden ser orgánicos como por ejemplo los adhesivos de resina epoxi, los polímeros orgánicos se pueden clasificar a su vez en polímeros naturales como las proteínas y en polímeros sintéticos como los materiales termoestables.

Existen diferentes parámetros que miden las propiedades de los polímeros como el radio de giro, la densidad del polímero, la distancia media entre las cadenas poliméricas, la longitud del segmento cuasi-estático dentro de las cadenas poliméricas, etc...

Entre las propiedades que definen las propiedades de los polímeros, las más importantes son:

- a) **La temperatura de transición vítrea del polímero:** La temperatura de transición vítrea determina la temperatura en la cual el polímero cambia radicalmente sus propiedades mecánicas, cuando la temperatura de transición vítrea es ligeramente inferior a la temperatura ambiente el polímero se comporta como un material elástico (elastómero), cuando la temperatura de transición vítrea es superior a la temperatura ambiente el polímero se comporta como un material rígido (termoestable).

- b) **El peso medio molecular del polímero:** El peso molecular medio determina de manera directa tanto el tamaño del polímero así como sus propiedades tanto químicas como mecánicas (viscosidad, mojado, resistencia a la fluencia, resistencia a la abrasión, etc.), polímeros con alto peso molecular medio corresponden a materiales muy viscosos.

Existen un gran abanico de materiales cuya composición se basan en polímeros, todos los plásticos, los recubrimientos de pintura, los adhesivos, los materiales compuestos, etc... Son ejemplos de materiales basados en polímeros que utilizamos en nuestro día a día.

2.3.3. USO DE POLIMEROS EN PAVIMENTOS

a) Introducción:

La modificación de asfalto es una nueva técnica utilizada para el aprovechamiento efectivo de asfaltos en la pavimentación de vías. Esta técnica consiste en la adición de polímeros a los asfaltos convencionales con el fin de mejorar sus características mecánicas, es decir, su resistencia a las deformaciones por factores climatológicos y del tránsito (peso vehicular).

Los objetivos que se persiguen con la modificación de los asfaltos con polímeros, es contar con ligantes más viscosos a temperaturas elevadas para reducir las deformaciones permanentes (ahuellamiento), de las mezclas que componen las capas de rodamiento, aumentando la rigidez. Por otro lado disminuir el fisuramiento por efecto térmico a bajas

temperaturas y por fatiga, aumentando su elasticidad. Finalmente contar con un ligante de mejores características adhesivas.

b) Propiedades:

Aunque en una mezcla asfáltica, el asfalto sea minoritario en proporción, sus propiedades pueden influir de manera significativa en su comportamiento. El tipo de mezcla será el que, en gran medida, determine la contribución hecha por el ligante sobre todo el conjunto. Generalmente, las propiedades de las mezclas con granulometría continua dependen del enclavamiento o trabazón de los áridos, mientras que las preparadas con altos contenidos de mortero asfáltico dependen más de la rigidez de la proporción de ligante, polvo mineral y arena.

A altas temperaturas de servicio, puede que el ligante llegue a reblandecerse, facilitando la deformación de la mezcla (ahuellamiento). El riesgo de aparición de estas deformaciones es aún mayor en pavimentos sometidos a la circulación de vehículos pesados. De manera generalizada y sin tener en cuenta otros factores que pueden influir, se puede disminuir la probabilidad de aparición de estas deformaciones aumentando la rigidez del ligante mediante el empleo de un asfalto más duro.

Por otro lado a temperaturas de servicios bajas, el ligante se vuelve relativamente rígido y va perdiendo poder de resistencia a las tensiones, volviéndose frágil y siendo susceptible de fisuraciones. El grado de susceptibilidad a la fisuración está relacionado con la dureza del asfalto y su capacidad para absorber las sollicitaciones inducidas por

el tráfico. Disminuyendo la dureza del asfalto, se minimizará el riesgo de fallo por fragilidad.

Entonces, debido a lo dicho precedentemente a la hora de buscar comportamientos globales satisfactorios de la mezclas bituminosas, la elección del asfalto adecuado para cada tipo de mezclas se vuelve un compromiso entre ambos extremos; ahuellamiento a altas temperaturas y fisuramiento por fragilidad térmica a bajas temperaturas. Donde mejorando el comportamiento a altas temperaturas, se influye negativamente en el comportamiento a bajas temperaturas.

Otras propiedades que el asfalto modificado mejora respecto del asfalto convencional son:

- Mayor intervalo de plasticidad(diferencia entre el punto de ablandamiento y el Fraass)
- Mayor cohesión.
- Mejora de la respuesta elástica.
- Mayor resistencia a la acción del agua.
- Mayor resistencia al envejecimiento.

Las propiedades que estos imparten dependen de los siguientes factores:

- Tipo y composición del polímero incorporado.
- Característica y estructura coloidal del asfalto base.
- Proporción relativa de asfalto y polímero.

c) Tipos:

Los polímeros son sustancias de alto peso molecular formado por la unión de cientos o miles de moléculas pequeñas llamadas monómeros (compuestos químicos con moléculas simples). Se forman así moléculas gigantes que toman formas diversas: cadenas en forma de escalera, cadenas unidas o termofijas que no pueden ablandarse al ser calentadas, cadenas largas y sueltas, etc. Algunos modificadores poliméricos que han dado buenos resultados.

- **Homopolímeros:** que tienen una sola unidad estructural (monómero).
- **Copolímeros:** tienen varias unidades estructurales distintas. (Ejemplos: EVA, SBS)
- **Plastómeros:** al estirarlos se sobrepasa la tensión de fluencia, no volviendo a su longitud original al cesar la sollicitación. Tienen deformaciones pseudoplásticas con poca elasticidad.

Dentro de estos tenemos:

- ✓ EVA: etileno-acetato de vinilo.
- ✓ EMA: Etileno-acrilato de metilo
- ✓ PE: (polietileno) tiene buena resistencia a la tracción y buena resistencia térmica, como también buen comportamiento a bajas temperaturas.
- ✓ PP: (Polipropileno).
- ✓ Poliestireno: no son casi usados.

- **Elastómeros:** al estirarlos, a diferencia de los anteriores, estos vuelven a su posición original, es decir, son elásticos.

Dentro de estos tenemos:

- ✓ Natural: caucho natural, celulosa, glucosa, sacarosa, ceras y arcillas son ejemplos de polímeros orgánicos e inorgánicos naturales

- ✓ SBS:(estireno-butadieno-estireno) o caucho termoplástico. Este es el más utilizado de los polímeros para la modificación de los asfaltos, ya que este es el que mejor comportamiento tiene durante la vida útil de la mezcla asfáltica.
 - ✓ SBR: Cauchos sintéticos del 25% de Estireno y 75% de butadieno; para mejorar su adhesividad se le incorpora ácido acrílico
 - ✓ EPDM: (polipropileno atáctico) es muy flexible y resistente al calor y a los agentes químicos.
-
- **Termoendurecibles:** estos tienen muchos enlaces transversales que impiden que puedan volver a ablandarse al calentarse nuevamente. Son ejemplos de estos las resinas epóxi; estas se usan en grandes porcentajes, mayores al 20%, son muy costosas y se utilizan para casos especiales (ejemplo: playa de camiones)

d) Condiciones:

Para que los asfaltos con polímeros consigan las prestaciones óptimas, hay que seleccionar cuidadosamente el asfalto base (es necesario que los polímeros sean compatible con el material asfáltico), el tipo de polímero, la dosificación, la elaboración y las condiciones de almacenaje. Cada polímero tiene un tamaño de partícula de dispersión óptima para mejorar las propiedades reológicas, donde por encima de esta el polímero solo actúa como un filler; y por debajo de esta, pasan a estar muy solubilizados y aumentan la viscosidad, sin mejorar la elasticidad y la resistencia.

Para analizar la compatibilidad de los polímeros con el asfalto base tenemos:

- Criterio del índice de IMAMURA.

- Mediante tablas de solubilidad.

Los polímeros compatibles producen rápidamente un asfalto estable, usando técnicas convencionales de preparación. Estos sistemas convencionales de preparación de asfaltos modificados con polímeros son grandes recipientes de mezclado con paletas agitadoras a velocidades lentas, o recipientes especiales que favorecen la recirculación con agitadores mecánicos de corte de gran velocidad. El polímero puede venir en polvo, en forma de pequeñas bolitas (pellets) o en grandes panes. La temperatura de mezclado depende del tipo de polímero utilizado.

En la actualidad muchos fabricantes de asfaltos, han instalados equipos especializados para la preparación de A.M.P, estas centrales producen asfaltos modificados con polímeros que alcanzan altas prestaciones.

e) Especificaciones:

En razón que los asfaltos presentan un comportamiento reológico de tipo viscoelástico, la adición de un polímero incrementa su componente elástica. Los ensayos típicos de "Penetración" y "Punto de Ablandamiento", no miden elasticidad ni recuperación elástica, características típicas de los asfaltos modificados, de ahí que deba recurrirse a otros tipos de ensayos. Un método que ha sido adoptado en muchos países de Europa, es el de "Recuperación elástica", basado en el ensayo convencional de "Ductilidad".

Hasta el momento no se tiene conocimiento de una especificación para asfaltos modificados con polímeros modificados por parte de instituciones oficiales. Sí se conocen especificaciones que se ajustan a determinados productos comerciales; en estas

especificaciones se incluyen, entre otros ensayos, el "Punto de fractura Fraass" y el ensayo de "Recuperación elástica".

f) Ventajas:

- Disminuye la susceptibilidad térmica
 - ✓ Se obtienen mezclas más rígidas a altas temperaturas de servicio reduciendo el ahuellamiento.
 - ✓ Se obtienen mezclas más flexibles a bajas temperaturas de servicio reduciendo el fisuramiento.
- Disminuye la exudación del asfalto: por la mayor viscosidad de la mezcla, su menor tendencia a fluir y su mayor elasticidad.
- Mayor elasticidad: debido a los polímeros de cadenas largas.
- Mayor adherencia: debido a los polímeros de cadenas cortas.
- Mayor cohesión: el polímero refuerza la cohesión de la mezcla.
- Mejora la trabajabilidad y la compactación: por la acción lubricante del polímero o de los aditivos incorporados para el mezclado.
- Mejor impermeabilización: en los sellados bituminosos, pues absorbe mejor los esfuerzos tangenciales, evitando la propagación de las fisuras.
- Mayor resistencia al envejecimiento: mantiene las propiedades del ligante, pues los sitios más activos del asfalto son ocupados por el polímero.
- Mayor durabilidad: los ensayos de envejecimiento acelerado en laboratorio, demuestran su excelente resistencia al cambio de sus propiedades características.

- Mejora la vida útil de las mezclas: menos trabajos de conservación.
- Fácilmente disponible en el mercado.
- Permiten mayor espesor de la película de asfalto sobre el agregado.
- Mayor resistencia al derrame de combustibles.
- Reduce el costo de mantenimiento.
- Disminuye el nivel de ruidos: sobre todo en mezclas abiertas.
- Aumenta el módulo de la mezcla.
- Permite la reducción de hasta el 20% de los espesores por su mayor módulo.
- Mayor resistencia a la flexión en la cara inferior de las capas de mezclas asfálticas.
- Permite un mejor sellado de las fisuras.
- Buenas condiciones de almacenamiento a temperaturas moderadas.
- No requieren equipos especiales.

g) Desventajas:

- Alto costo del polímero.
- Dificultades del mezclado: no todos los polímeros son compatibles con el asfalto base (existen aditivos correctores).
- Deben extremarse los cuidados en el momento de la elaboración de la mezcla.
- Los agregados no deben estar húmedos ni sucios.
- La temperatura mínima de distribución es de 145°C por su rápido endurecimiento

2.3.4. POLIMERO ACRILICO RETICULADO “AGGREBIND”

El polímero a usar en el siguiente proyecto tiene como nombre “AggreBind”, es un polímero de cadenas cruzadas de estireno acrílico que está diseñado como un estabilizador-pavimentador-sellador que mejora considerablemente la capacidad de carga y compactación, así como la resistencia de cualquier material que se encuentre en el sitio de la construcción. Las pruebas de laboratorio y en sitios de construcción muestran un resistencia a la compresión de hasta 1750 psi (123.07 Kg/cm²) y compactaciones de 95 – 100 proctor modificado y hasta 102 CBR.

Así mismo el Polímero no es corrosivo, no es volátil, interactúa positivamente con cualquier material de construcción y mejora considerablemente la capacidad de carga y compactación de cualquier suelo in-situ.

Siendo aplicado correctamente AggreBind cumple con los requerimientos del estándar de la AASHTO (Asociación Americana de Transporte y Carreteras Estatales) para la estabilización de suelos.

Mientras AggreBind se encuentra en su estado líquido sin diluir soportará por lo menos 5 pruebas de congelación/descongelación manteniendo sus propiedades químicas.

a) Propiedades Físicas y Químicas

- Estado : Líquido Color: Blanco
- Olor : ligero y característico del producto
- Tasa de evaporación : Lenta

- Oxidante : NO-Oxidante (Según criterios de la comunidad europea)
- Solubilidad en Agua : Mezclable
- Viscosidad : No viscoso
- Punto de Ebullición : 100C
- Presión de Vapor : 23 mbar 20C
- Densidad Relativa : 1.05 at 20C
- pH : 7.7 – 8.3

b) Estabilidad y Reactividad

- Estabilidad : Estable
- Condiciones a evitar : Excesivo calor y exposición al sol.
- Compuestos peligrosos al Descomponerse : Vapores peligrosos al quemarse.

c) Toxicología: Los Ingredientes peligrosos son:

- Solución de Amonio lvn
- MUS LD50 91mg/kg ORAL
- RAT LD50 350mg/kg SCU MUS
- LDLO 160mg/kg

d) Información Ecológica.

- Movilidad : No volátil
- Persistencia Y biodegradación : No biodegradable.

2.3.5. USOS DEL POLIMERO ACRILICO RETICULADO

- a) Estabilización de suelos
- b) Bases y Rodaduras para carreteras
- c) Reciclaje de Asfalto
- d) Sallador de Asfalto
- e) Reparación de Baches
- f) Control de polvo y erosión
- g) Construcción de Ladrillos
- h) Aplicación como mortero

2.4. MARCO NORMATIVO

El presente proyecto de investigación se basara en la estabilización del suelo con productos químicos, más precisamente con polímeros, para tal efecto, se narraran a continuación los lineamientos encontrados en las especificaciones técnicas para la construcción, específicamente en la sección 301.C Suelo Estabilizado con productos químicos.

2.4.1. DESCRIPCION

Consiste en la construcción de una o más capas de suelos estabilizados con productos químicos, de acuerdo con estas especificaciones técnicas, así como de las dimensiones, alineamiento y secciones transversales indicadas en el proyecto.

2.4.2. MATERIALES

a) Suelos

El suelo por estabilizar con productos químicos, podrán ser material de afirmado o porvenir, de la escarificación de la capa superficial existente o ser un suelo natural proveniente de:

- Excavaciones o zonas de préstamo
- Agregados locales
- Mezclas de ellos

Cualquiera que sea el material a emplear, deberá estar libre de materia orgánica u otra sustancia que pueda perjudicar la elaboración y fraguado del concreto. Además, cumplir los siguientes requisitos generales:

✓ Granulometría

La granulometría del material a estabilizar puede corresponder a los siguientes tipos de suelos A-1, A-2, A-3, A-4, A-5, A-6 y A-7. Además el tamaño máximo no podrá ser mayor de 5cm (2”) o 1/3 del espesor de la capa compactada.

✓ Plasticidad

La fracción inferior del tamiz de 425 μm (N°40) deberá presentar un Limite Líquido inferior a 40 y un Índice Plástico cuando menos de 6 pero no superior al 12%, determinados según normas de ensayo MTC E 110 y MTC E 111.

✓ Composición Química

La porción de sulfatos del suelo, expresada como SO₄- no podrá exceder de 0.2% en peso.

✓ **Abrasión**

Si los materiales a estabilizar van a conformar capas estructurales, los agregados gruesos deben tener un desgaste a la abrasión (Maquina de Los Ángeles) MTC E 207 no mayor a 50%.

✓ **Solidez**

Los materiales a estabilizar van a conformar capas estructurales y el material se encuentra a una altitud ≥ 3.000 m.s.n.m., los agregados gruesos no deben presentar perdidas en sulfato de magnesio superiores al 18% y en materiales finos superiores al 15%.

b) Productos Químicos (Polímero)

Son estabilizadores de diversa índole, resultantes de fabricación industrial de productos químicos u orgánicos, aplicables a capas de afirmado, mejoramiento de suelos u otras, teniendo en consideración la ubicación, clima y tipo de material predominante en las vías a emplearse.

El producto a emplear será acorde al diseño de mezcla, aprobado por el supervisor y será respaldado por una constancia del fabricante sobre su eficiencia, forma de uso y sus fechas de elaboración y vencimiento. El contratista deberá garantizar que el producto por

utilizar, no implica riesgo de contaminación, ni peligro para la salud de seres vivos.

c) Agua

El agua deberá ser limpia y estará libre de materia álcalis y otras sustancias deletéreas. Su pH, medido según norma NTP 339073, deberá estar comprendido entre 5.5 y 8.0 y el contenido de sulfatos, expresado como SO₄⁻ y determinado según norma NTP 339.074, no podrá ser superior a 3000 ppm, determinado según la norma NTP 339072. En general, se considera adecuada el agua potable y ella se podrá emplear sin necesidad de realizar ensayos de calificación antes indicados.

2.5. MARCO METODOLÓGICO

2.5.1. DISEÑO METODOLÓGICO

a) Tipo de Investigación

La presente investigación es de carácter aplicativo de tipo descriptivo – explicativo porque su propósito es determinar la estabilización del suelo mediante el polímero para exponerlo como alternativa en la construcción de vías.

Como investigación generara un mejor nivel de vida debido a que mejorara las condiciones medioambientales en la ejecución del mismo y da ventajas tanto durante y después de la construcción de la vía.

b) Diseño de la Investigación

Nuestra investigación responde a las características propias de una investigación actual explicativa, puesto que pasamos metodológicamente por las etapas de planeamiento y ejecución, aplicando los métodos deductivo e inductivo, por lo tanto el diseño específico de la investigación es transversal, correlacionar y causal porque se analiza el estado de nuestras variables en un momento dado y se recolectan los datos en un momento dado y tiempo único, es decir se adecua a las condiciones y cómo éstas se presentan en la realidad para tomar los datos para su análisis respectivo y proponer una nueva alternativa para la estabilización de suelos con el polímero acrílico reticulado para la construcción de pavimentos de bajo volumen de tránsito.

2.6. TÉCNICAS DE RECOPIACIÓN DE DATOS

2.6.1. EXPLORACION DE SUELOS:

AASHTO para la investigación y muestreo de suelos y rocas recomienda la aplicación de la norma T 86-90 que equivale a la ASTM D420-69-, para la presente investigación se aplicara los procedimientos establecidos en las normas MTC E 101, MTC E 102, MTC E 103 Y MTC E 104, que recogen los mencionados alcances de AASHTO Y ASTM.

Para la exploración de suelos y rocas primero deberá efectuarse un reconocimiento del terreno y como resultado de ello un programa de exploración e investigación de campo a lo largo de la vía y en las zonas de préstamo, para de esta manera identificar los diferentes tipos de suelo que puedan presentarse.

El reconocimiento del terreno permitirá identificar los cortes naturales y/o artificiales, definir los principales estratos de suelos superficiales, delimitar las zonas en las que los suelos presentan características similares, así mismo identificar las zonas de riesgo o poco recomendables para emplazar el trazo de la vía.

El programa de exploración e investigación de campo incluirá la ejecución de calicatas o pozos exploratorios, cuyo espaciamiento dependerá fundamentalmente de las características de los materiales subyacentes en el trazo de la vía. Generalmente están espaciadas entre 250 m y 2000 m, pero pueden estar más próximas dependiente de puntos singulares, como en los casos de:

- Cambio de topografía de la zona en estudio
- Por la naturaleza de los suelos cuando los suelos se presentan en forma errática o irregular
- Delimitar las zonas en que se detecten suelos que se consideren pobres o inadecuados
- Zonas que soportaran terraplenes o rellenos de altura mayor a 5.0 m
- Zonas donde la rasante se ubica muy próxima al terreno natural ($h < 0.60$ m)
- En zonas de corte, se ubicaran los puntos de cambio de corte a terraplén o de terraplén a corte, para conocer el material a nivel de subrasante.

De calicatas o pozos exploratorios deberán obtenerse de cada estrato muestras representativas en número u cantidades suficientes de suelo o de roca, o de ambos de cada material que sea importante para el diseño y la construcción. El tamaño y tipo de muestra requerida depende de los ensayos que se vayan a efectuar y del porcentaje de partículas gruesas en la muestra, y del equipo de ensayo a ser usado.

Con las muestras obtenidas en la forma descrita, se efectuarán ensayos en laboratorio y finalmente con los datos obtenidos se pasara a la fase de gabinete, para consignar en forma gráfica y escrita los resultados obtenidos, así mismo se determinara un perfil estratigráfico de suelos (eje y bordes), debidamente acotado en un espesor no menos a 1.50 m, teniendo como nivel superior la línea de sub rasante del diseño geométrico vial y debajo de ella, espesores y tipos de suelos del terraplén y los del terreno natural, con indicación de sus propiedades o características y los parámetros básicos para el diseño de pavimentos. Para obtener un perfil estratigráfico en zonas donde existirán cortes cerrados, se efectuarán métodos geofísicos de prospección que permitan determinar la naturaleza y características de los suelos y/o roca subyacente (según norma MTC E101).

En el siguiente cuadro se darán el número de calicatas para exploración de suelos, la cual aplica a pavimentos nuevos, reconstrucción y mejoramiento.

Tipo de Carretera	Profundidad (m)	Número mínimo de Calicatas	Observación
Autopistas: Carreteras de IMDA mayor a 6000 veh/día, de calzadas separadas, cada una con dos o más carriles.	1.50 m respecto al nivel de subrasante del proyecto	<ul style="list-style-type: none"> - Calzada 2 Carriles por sentido: 4 calicatas x Km x sentido. - Calzada 3 carriles por sentido: 4 calicatas x Km x sentido. - Calzada 4 carriles por sentido: 6 calicatas x Km x sentido. 	Las calicatas se ubicaran longitudinalmente y en forma alternada

Carreteras Duales o Multicarril: carreteras de IMDA entre 6000 y 4001 veh/día, de calzadas separadas, cada una con dos o más carriles.	1.50 m respecto al nivel de subrasante del proyecto	<ul style="list-style-type: none"> - Calzada 2 Carriles por sentido: 4 calicatas x Km x sentido. - Calzada 3 carriles por sentido: 4 calicatas x Km x sentido. - Calzada 4 carriles por sentido: 6 calicatas x Km x sentido. 	
Carreteras de Primera Clase: carreteras con un IMDA entre 4000-2001 veh/día, de una calzada de dos carriles.	1.50 m respecto al nivel de subrasante del proyecto	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 4 calicatas x Km 	Las calicatas se ubicaran longitudinalmente y en forma alternada
Carreteras de Segunda Clase: carreteras con un IMDA entre 2000-401 veh/día, de una calzada de dos carriles.	1.50 m respecto al nivel de subrasante del proyecto	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 3 calicatas x Km 	
Carreteras de Tercera Clase: carreteras con un IMDA entre 2000-401 veh/día, de una calzada de dos carriles.	1.50 m respecto al nivel de subrasante del proyecto	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 2 calicatas x Km 	
Carreteras de Bajo Volumen de Transito: carreteras con un IMDA ≤ 200 veh/día, de una calzada	1.50 m respecto al nivel de subrasante del proyecto	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 1 calicatas x Km 	

Tabla 2-9: Número de Calicatas para Exploración de suelos

2.6.2. ESTUDIO DE TRÁFICO

La demanda del tráfico es un aspecto esencial que el ingeniero necesita conocer con relativa y suficiente precisión, para planificar y diseñar con

éxito muchos aspectos de la viabilidad, entre ellos el diseño del pavimento y el de la plataforma del camino.

En lo que corresponde a la Selección de Suelos y Pavimentos de este proyecto de tesis, la necesidad de información del tráfico se define desde dos puntos de vista: el diseño estructural del pavimento y el de la capacidad de los tramos viales para conocer hasta que límites de volúmenes de tráfico puede estimarse crecerá la demanda que afectara a la estructura vial durante el periodo del análisis vial adoptado para un estudio.

El estudio de tráfico deberá proporcionar la información del índice medio diario anual (IMDA) para cada tramo vial materia de un estudio.

Para cada uno de los tramos además de la demanda volumétrica actual deberá conocerse la clasificación por tipo de vehículos. El cálculo del IMDA requiere de los índices de variación mensual, información que el MTC dispone y puede proporcionar de los registros continuos que obtiene actualmente en las estaciones existentes de peaje y de pesaje del propio MTC y de las correspondientes a los contratos de concesiones viales. La existencia de esta información es importante para construir una base de datos muy útil, como referencia regional que permitirá reducir los requerimientos de estudios y los costos que actualmente se tienen cuando se realizan estos estudios- adicionalmente el uso de esta información oficial garantizara una mejor consistencia entre la información obtenida y utilizada para los diversos estudios.

La información directa requerida para los estudios de tráfico en principio y salvo necesidades con objetivos más precisos o distintos, se conformara con muestreos orientados a calcular el IMDA del tramo, empezando por la

demanda volumétrica actual de los flujos clasificados por tipo de vehículos en cada sentido del tráfico. La demanda de Carga por Eje, y la presión de los neumáticos en el caso de vehículos pesados (camiones y ómnibus) guardan relación directa con el deterioro del pavimento. Contando con la referencia regional previamente descrita, en términos generales será suficiente realizar las nuevas investigaciones puntuales por tramo en solo dos días, teniendo en cuenta que el tráfico este bajo condición normal. Uno de los días corresponde a un día laborable típico y el otro a un día sábado.

Simultáneamente se realizara un control mediante una muestra representativa aleatoria de pesos por eje de vehículos pesados, utilizando equipo portátil calibrado oficialmente que alcance un número superior al 30% de los vehículos pesados del día, cuidando de la calidad de la muestra para evitar cualquier sesgo particular que la invalide.

En los casos en que hubiera una fuente de información continua, precisa o que los flujos fueran muy pequeños, deberá justificarse adecuadamente la elección del tamaño de la muestra.

La información levantada servirá de un lado como base para el estudio de la proyección de la demanda para el periodo de análisis, y en este contexto, para establecer el número de ejes Equivalentes (EE) de diseño para el pavimento. El Ingeniero Responsable deberá sustentar si hay razones para establecer que el crecimiento de la demanda seguirá una tendencia histórica identificable con información previa existente o si esta será modificada por factores socio económico, acompañando el análisis justificatorio.

Para el diseño de un camino es muy importante el estudio de las características del tránsito, el cual es muy complejo pues dependen de bastantes factores: humanos, sociales y económicos, de características variables con el tiempo, las circunstancias y las zonas. Por ello el ajuste del tránsito a fórmulas matemáticas exactas, en un principio resulta poco viable.

En el caso del presente proyecto de Tesis se tomara un Tránsito a futuro, ya que, en la Av. Las Torres es una vía que si bien ya se han realizado trabajos para que considere como camino no pavimentado, este aun no funciona como tal, debido a distintos factores. La determinación del tránsito futuro no es sencilla, de hecho es sumamente complicada por todas las variables que intervienen, no siempre previsible en países desarrollados y por supuesto imprevisibles en la mayoría de los países en vías de desarrollo. Las variables dependen del:

a) Tránsito Actual: El Tránsito futuro parte del conocimiento del tránsito actual que tiene, según la AASHTO, dos componentes:

- Tránsito actual existente: Es el que existe al momento del estudio determinado por censos directos o de origen y destino.
- Tránsito atraído: Cuando se trata de una ruta nueva, el tránsito existente no está presente, es solo potencial. El atraído es el que usará la nueva vía, pero que antes de la mejora utiliza las vías existentes. Al tránsito que antes utilizaba otras instalaciones y que, por razones de economía de tiempo, de distancia, de seguridad y confort del usuario, circulará por la nueva vía se llama tránsito atraído. La cuantificación de este tránsito tampoco es sencilla, existen herramientas para hacerlo, pero de última dependen del criterio del especialista.

En la actualidad existen simuladores de movimiento del tránsito macroscópico y microscópico que convenientemente seleccionadas las variables y su evolución, permiten visualizar el comportamiento de un vehículo o de un flujo viario dentro de las distintas alternativas seleccionadas y en distintas situaciones de operación, lo que indicaría la tendencia del tránsito a seleccionar la nueva vía.

Sin embargo, tradicionalmente se han utilizado con bastante buena respuesta, procedimientos para obtener los vehículos atraídos, entre los más conocidos pueden citarse:

✓ **Relación tiempo de viaje:**

Este procedimiento considera que la principal causa que incide sobre la elección de una instalación sobre otra radica en la economía de tiempo y que el tiempo medio empleado por los vehículos para recorrer un tramo mide la calidad del servicio en ese tramo. Los procedimientos suelen ser costosos y a veces se recurre a procedimientos sustitutos poco exactos pero de limitada utilidad a nivel de estudios de factibilidades.

Es común utilizar vehículos flotantes que dentro del flujo del tránsito miden los tiempos de viaje y las demoras medias. Por lo general se realizan entre 5 y 10 viajes por itinerario. Suele considerarse suficiente una precisión del orden del 15 % en las medias realizadas.

✓ **Economía de tiempo y distancia:**

La hipótesis de esta teoría supone que tanto mayor será la tendencia a utilizar una cierta vía cuando mayor sea la

economía de tiempo y distancia que la ruta analizada procure con su ejecución. Con esta premisa, Karl Moskavitz propuso un método que fue adoptado por el Departamento de Carreteras de California (EE.UU) en los años ´60. El autor propone un par de ejes cuya abscisa es el tiempo economizado o perdido en minutos sobre una instalación vial y en las ordenadas la distancia economizada o perdida por uso de igual arteria. El punto de intersección de la doble entrada da el porcentaje de vehículos que probablemente utilizará la nueva vía. La antigüedad de este método no cambia el sentido de las variables utilizadas en la ecuación probabilística y si bien, han surgido métodos más modernos y complicados, la simplicidad de este concepto, con sus correspondientes precauciones permite su uso para estudios de factibilidad.

✓ **Crecimiento normal del tránsito:**

Este es uno y posiblemente el más complejo de los factores que intervienen en la predicción final del tránsito futuro. Las variables que inciden en su estimación, en países que no cuenten con un proyecto a mediano y largo plazo, carecen de constancia en el tiempo debido a las fluctuaciones económicas o políticas que distorsionan las líneas de tendencia, haciendo imprevisible la adopción de un valor que finalmente responda a las necesidades futuras, especialmente si se tiene en cuenta que estos estudios se tienen que basar sobre periodos de tiempo de 20 ó 30 años. La predicción se hace más compleja aún si tenemos en cuenta que, por ejemplo, una carretera atraviesa zonas de diferentes características económicas, demográficas, del

uso de los suelos, etc., lo que determina que cada zona tenga un diferente coeficiente de expansión. Aun así, ¿Qué asegura que los coeficientes que se han podido determinar, sean constantes en el tiempo?

El Bureau of Public Road ha utilizado, por supuesto en países que garantizan una estabilidad económica y política aceptable, la siguiente expresión para obtener el tránsito futuro de crecimiento normal:

$$T_f = T_A \cdot a \cdot b \cdot c \cdot d = T_A \cdot C_f/C_a \cdot r_f/r_a = T_A \cdot C_f/C_a \cdot j(r)$$

Donde

T_f = Tránsito futuro de crecimiento normal

T_A = Tránsito actual

a = Coeficiente entre población futura y actual (crecimiento vegetativo)

b = cociente entre el número de automotores por habitantes futuros y actual

c = Cociente entre el consumo futuro de combustible por vehículo y el actual

d = Cociente entre rendimientos futuros por vehículos sobre los rendimientos actuales

$j(r)$ = Coeficiente de ajuste que trata de interpretar la tendencia de la demanda en lo que respecta al rendimiento de los automotores.

Para estimar el consumo futuro la expresión más utilizada es la de Gompertz. Es una curva de tipo auto catalítico, de lento crecimiento inicial que se acentúa más adelante, para decrecer en la etapa de saturación. La ecuación es de la forma:

$$y = a \cdot b^{c^d}$$

Dónde:

d = año de ocurrencia del fenómeno

a, b y c = constantes a determinar

Los valores derivados de esta expresión, según el Public Road, no debe extenderse a más de 10 (diez) años. Lapsos mayores pueden conducir a resultados exagerados.

En nuestro país, la Dirección Nacional de Vialidad (Normas de Diseño Geométrico de Caminos Rurales Ed. 1967), en base a estudios realizados establece una tasa de crecimiento normal según las características de la zona. La Tabla N° 1 de las mencionadas normas muestra los valores del crecimiento normal. Una reflexión importante que cabe hacer es que la antigüedad de los valores encontrados para efectuar las predicciones hace que ya están desactualizados.

La Dirección Nacional de Vialidad, proporciona en sus informes anuales el factor de crecimiento estimado. La ventaja de esta medida es que se puede contar con un índice de crecimiento normal, pero la incertidumbre es si se puede utilizar indiscriminadamente para cualquier zona del país.

b) Tránsito Generado:

Consiste en la cantidad de viajes que no hubieran sido realizados de no haberse introducido la mejora. Este tránsito puede ser clasificado en tres categorías:

- Nuevos viajes: que se realizarán a partir de la mejora
- *Tránsito convertido*: Viajes que se realizaron utilizando transporte público de pasajeros.

- *Tránsito inducido:* Viajes que se realizaron a diferente destino, pero que debido a la mejora propiamente dicha y no por el cambio del uso de la tierra se han generado.

Es necesario destacar que este tránsito generado es creado exclusivamente debido a la mejora introducida en la instalación vial y no por otros factores que son analizados posteriormente.

c) Tránsito Desarrollado:

Este tránsito es el derivado de las mejoras que se realizan en las tierras adyacentes y no de la infraestructura vial propiamente dicha. La subdivisión de las tierras adyacentes, los adelantos edilicios, los nuevos emprendimientos agrícolas e industriales producen un mayor desarrollo que crea en sí mismo un incremento del tránsito y que opera con el transcurso del tiempo.

Tampoco es sencillo determinar la magnitud de este tipo de tránsito y su evolución en el tiempo. Vialidad Nacional, acepta que este factor puede ser estimado como un incremento de la tasa anual de crecimiento vegetativo. Se supone que en casos favorables puede llegar al 1 % y que además será algo mayor en las zonas urbanas que en las suburbanas y rurales. En estas regiones áridas y donde los caminos, generalmente de tipo rural, cumplen funciones de accesibilidad, el tránsito generado es prácticamente despreciable.

d) Tránsito futuro:

Finalmente y una vez obtenida la tasa de crecimiento normal, ya sea por estudios especializados o por el uso de tablas, se hace necesario considerar la influencia de los tránsitos generados y desarrollados en la estimación del tránsito futuro.

Para el estudio de tráfico propiamente dicho existen parámetros para el cálculo de Ejes Equivalentes, dato que será de utilidad para el diseño de la vía. Estos son:

a) Factor Direccional y Factor Carril:

El factor de distribución direccional expresado como una relación, que corresponde al número de vehículos pesados que circulan en una dirección o sentido de tráfico, normalmente corresponde a la mitad del total de tránsito circulante en ambas direcciones, pero en algunos casos puede ser mayor en una dirección que en otra, el que se definirá según el conteo de tráfico.

El factor de distribución carril expresado como una relación, que corresponde al carril que recibe el mayor número de EE, donde el tránsito por dirección mayormente se canaliza por ese carril.

El tráfico para el carril de diseño del pavimento tendrá en cuenta el número de direcciones o sentidos y el número de carriles por calzada de carretera, según el porcentaje o factor ponderado aplicando el IMD, como dicta el siguiente cuadro.

Numero de calzadas	Numero de Sentidos	Número de carriles por sentido	Factor Direccional (Fd)	Factor Carril (Fc)	Factor Ponderado Fd x Fc para carril de diseño
1 calzada (para IMDa total de la calzada)	1 sentido	1	1	1	1
	1 sentido	2	1	0.8	0.8
	1 sentido	3	1	0.6	0.6
	1 sentido	4	1	0.5	0.5
	2 sentidos	1	0.5	1	0.5
	2 sentidos	2	0.5	0.8	0.4
2 calzadas con separador central (para IMDa total de la calzada)	2 sentidos	1	0.5	1	0.5
	2 sentidos	2	0.5	0.8	0.4
	2 sentidos	3	0.5	0.6	0.3
	2 sentidos	4	0.5	0.5	0.25

Tabla 2-10: Factores de Distribución Direccional y de carril para determinar el Transito en el Carril de Diseño

Fuente: Ministerio de Transportes y Comunicaciones .Manual De Ensayos De Materiales Para Carreteras (EM-2000).

b) Calculo de Tasas de Crecimiento y Proyección:

Se pueden calcular el crecimiento de transito utilizando una fórmula de progresión geométrica por separado para el componente del tránsito de vehículos de pasajeros y para el componente del tránsito de vehículos de carga.

$$T_n = T_0(1 + r)^{n-1}$$

En la que:

T_n = Transito proyectado al año “n” en veh/día

T₀ = Transito actual (año base 0) en veh/día

n = Número de años del periodo de diseño

r = Tasa Anual de crecimiento de transito

la tasa anual de crecimiento de transito se define en correlación con la dinámica de crecimiento socio – económico. Normalmente se asocia la tasa de crecimiento del tránsito de vehículos de pasajeros con la tasa anual de crecimiento poblacional, y la tasa de crecimiento del tránsito

de vehículos de carga con la tasa anual del crecimiento de la economía expresada como el producto bruto interno (PBI). Normalmente las tasas de crecimiento del tráfico varían entre 2% y 6%.

Estas tasas pueden variar sustancialmente si existieran proyectos de desarrollo específicos, por implementarse con certeza a corto plazo en la zona del camino.

La proyección de la demanda puede también dividirse en dos componentes. Una proyección para vehículos de pasajeros que crecerá aproximadamente al ritmo de la tasa anual de crecimiento de la población y una proyección de la demanda de vehículos de carga que crecerá aproximadamente con la tasa de crecimiento de la economía. Ambos índices de crecimiento correspondientes a la Región, que normalmente cuenta con datos estadísticos de estas tendencias.

El siguiente cuadro proporciona el criterio para seleccionar el factor de crecimiento Acumulado (Fca) para el periodo de diseño, considerando la tasa anual de crecimiento ® y el periodo de análisis en años.

Periodo de análisis (años)	Factor sin crecimiento	Tasa anual de crecimiento (r)							
		2	3	4	5	6	7	8	10
1	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
2	2.00	2.02	2.03	2.04	2.05	2.06	2.07	2.08	2.10
3	3.00	3.06	3.09	3.12	3.15	3.18	3.21	3.25	3.31
4	4.00	4.12	4.18	4.25	4.31	4.37	4.44	4.51	4.64
5	5.00	5.20	5.19	5.42	5.53	5.64	5.75	5.87	6.11
6	6.00	6.31	6.47	6.63	6.80	6.98	7.15	7.34	7.72
7	7.00	7.43	7.66	7.90	8.14	8.39	8.65	8.92	9.49
8	8.00	8.58	8.89	9.21	9.55	9.90	10.26	10.64	11.44
9	9.00	9.75	10.16	10.58	11.03	11.49	11.98	12.49	13.58
10	10.00	10.95	11.46	12.01	12.58	13.18	13.82	14.49	15.94
11	11.00	12.17	12.81	13.49	14.21	14.97	15.78	16.65	18.53
12	12.00	13.41	14.19	15.03	15.92	16.87	17.89	18.98	21.38
13	13.00	14.68	15.62	16.63	17.71	18.88	20.14	21.50	24.52
14	14.00	15.97	17.09	18.29	19.16	21.01	22.55	24.21	27.97
15	15.00	17.29	18.60	20.02	21.58	23.28	25.13	27.15	31.77
16	16.00	18.64	20.16	21.82	23.66	25.67	27.89	30.32	35.95
17	17.00	20.01	21.76	23.70	25.84	28.21	30.84	33.75	40.55
18	18.00	21.41	23.41	25.65	28.13	30.91	34.00	37.45	45.60
19	19.00	22.84	25.12	27.67	30.54	33.76	37.38	41.45	51.16
20	20.00	24.30	26.87	29.78	33.06	36.79	41.00	45.76	57.28

Fuente: Tabla D-20 AASHTO Guide for Desing of Pavement Structures 1993.

Figura 2-5: Factores de Crecimiento Acumulado (Fca)

$$Fca = \frac{(1 + r)^n - 1}{r}$$

Dónde:

r = Tasa anual de crecimiento

n = Periodo de diseño

c) Numero de repeticiones de ejes equivalentes:

Para el diseño de pavimento, la demanda que corresponde al tráfico pesado de ómnibus y de camiones es la que preponderantemente tiene importancia.

El efecto del tránsito se mida en la unidad definida, por AASHTO, como Ejes Equivalentes (EE) acumulados durante el periodo de diseño tomado en el análisis. AASHTO definió como un Ee, al efecto de deterioro causado sobre el pavimento por un eje simple de dos ruedas convencionales cargado con 8.2 tn de peso, con neumáticos a la presión de 80 lbs/pulg². Los ejes Equivalentes (EE) son factores de equivalencia que representan el factor destructivo de las distintas cargas, por tipo de eje que conforman cada tipo de vehículo pesado, sobre la estructura del pavimento. En la siguiente figura se expresa la configuración de los ejes.

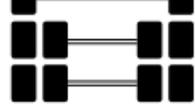
Conjunto de Eje (s)	Nomenclatura	Nº de Neumáticos	Gráfico
EJE SIMPLE (Con rueda simple)	1RS	02	
EJE SIMPLE (Con rueda coble)	1RD	04	
EJE TANDEM (1 Eje rueda simple + 1 Eje rueda doble)	1RS + 1RD	06	
EJE TANDEM (2 Rueda doble)	2 RD	08	
EJE TRIDEM (1 Rueda simple + 2 ejes rueda doble)	1RS + 2RD	10	
EJE TRIDEM (3 Ejes rueda doble)	3RD	12	

Figura 2-6: Configuración de Ejes

Para el cálculo de los EE se utilizarán las siguientes relaciones simplificadas, que resultaron de correlacionar los valores de las tablas del apéndice D de la Guía AASHTO 93 para las diferentes configuraciones de ejes de vehículos pesados (buses y camiones) y tipo de pavimento.

Tipo de Eje	Eje Equivalente (EE _{g.2ln})
Eje simple de ruedas simples (EE _{S1})	EE _{S1} = [P/6.6] ^{4.0}
Eje simple de ruedas dobles (EE _{S2})	EE _{S2} = [P/8.2] ^{4.0}
Eje tandem (1 eje ruedas dobles + 1 eje rueda simple) (EE _{TA1})	EE _{TA1} = [P/14.8] ^{4.0}
Eje tandem (2 ejes de ruedas dobles) (EE _{TA2})	EE _{TA2} = [P/15.1] ^{4.0}
Eje tridem (2 ejes ruedas dobles + 1 eje rueda simple) (EE _{TR1})	EE _{TR1} = [P/20.7] ^{3.9}
Eje tridem (3 ejes de ruedas dobles) (EE _{TR2})	EE _{TR2} = [P/21.8] ^{3.9}
P = peso real por eje en toneladas	

Fuente: Manual de Carreteras Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos, sección Suelos y Pavimentos en base a las correlaciones con los valores de las Tablas del apéndice D de la Guía AASHTO '93.

Figura 2-7: Relación de cargas por eje para determinar Ejes Equivalentes (EE) para Afirmados, Pavimentos Flexibles y Semirígidos.

Tipo de Eje	Eje Equivalente (EE _{g.2ln})
Eje simple de ruedas simples (EE _{S1})	EE _{S1} = [P/6.6] ^{4.1}
Eje simple de ruedas dobles (EE _{S2})	EE _{S2} = [P/8.2] ^{4.1}
Eje tandem (1 eje ruedas dobles + 1 eje rueda simple) (EE _{TA1})	EE _{TA1} = [P/13.0] ^{4.1}
Eje tandem (2 ejes de ruedas dobles) (EE _{TA2})	EE _{TA2} = [P/13.3] ^{4.1}
Eje tridem (2 ejes ruedas dobles + 1 eje rueda simple) (EE _{TR1})	EE _{TR1} = [P/16.6] ^{4.0}
Eje tridem (3 ejes de ruedas dobles) (EE _{TR2})	EE _{TR2} = [P/17.5] ^{4.0}
P = peso real por eje en toneladas	

Fuente: Manual de Carreteras Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos, sección Suelos y Pavimentos en base a las correlaciones con los valores de las Tablas del apéndice D de la Guía AASHTO '93.

Figura 2-8: Relación de cargas por eje para determinar Ejes Equivalentes (EE) para Pavimentos Rígidos

Para el diseño de un pavimento se adopta el número proyectado de EE que circularán por el ‘carril de diseño’, durante el periodo de análisis. El carril de diseño corresponderá al carril identificado como el más cargado de la carretera y el resultado de este cálculo será adoptado para todos los carriles de la sección vial típica de esa carretera, por tramos de demanda homogénea.

Para definir la demanda sobre el carril de diseño se analizará el tipo de sección transversal operativa de la carretera, el número de calzadas vehiculares y la distribución de la carga sobre cada carril que conforma la calzada.

La medición de la demanda estará basada en muestreos significativos del tránsito cuando no se cuenta con estaciones de pesaje que pueden generar censos de cargas por tipo de ejes. La investigación más extendida en la práctica del Perú, se orienta a la estratificación muestral de la carga por tipo de vehículo. Para ello la muestra del tráfico usuario se concentra en el tráfico pesado con la finalidad de obtener una información detallada promedio, pesando la carga real por tipo de vehículo muestreado, por tipo de ejes que lo conforman y por carga efectiva que lleva el eje. De esta manera con las mediciones obtenidas por tipo de vehículos pesados se calculará el factor vehículo pesado de cada uno de los tipos de vehículos del camino. Este factor resulta del promedio de EE que caracteriza cada tipo de vehículo pesado identificado para el camino.

El Factor vehículo pesado (F_{vp}), se define como el número de ejes equivalentes promedio por tipo de vehículo pesado (bus o camión), y el promedio se obtiene dividiendo la sumatoria de ejes equivalentes (EE) de un determinado tipo de vehículo pesado seleccionado. El

cálculo de factores de EE se efectuará utilizando las cargas reales por eje de los vehículos pesados encuestados en el censo de cargas.

El ingeniero responsable para el diseño de los pavimentos flexibles y semirrígidos tomará en cuenta, para el cálculo de EE, un factor de ajuste por presión de neumáticos, de tal manera de computar el efecto adicional de deterioro que produce las presiones de los neumáticos sobre el pavimento flexible o semirrígido. Para el caso de afirmados y pavimentos rígidos el factor de ajuste por presión de neumáticos será igual a 1.0.

Para la determinación de los factores de presión de neumáticos se utilizarán los valores de la tabla que se muestra al final del presente párrafo. Valores intermedios podrán interpolarse, de acuerdo al Manual MS - 1 del Instituto del Asfalto, modificando la presión inicial de 70 psi que indica la mencionada figura por la presión inicial de 80 psi, considerada en el “Manual de Carreteras” Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos, sección Suelos y Pavimentos.

Espeso de capa de rodadura (mm)	Presión de contacto del neumático (PCN) en psc PCN = 0.90 x (Presión de Inflado del Neumático) (pai)						
	80	90	100	110	120	130	140
50	1.00	1.30	1.80	2.13	2.91	3.59	4.37
60	1.00	1.33	1.72	2.18	2.69	3.27	3.92
70	1.00	1.30	1.65	2.05	2.49	2.99	3.53
80	1.00	1.28	1.59	1.94	2.32	2.74	3.20
90	1.00	1.25	1.53	1.84	2.17	2.52	2.91
100	1.00	1.23	1.48	1.75	2.04	2.35	2.68
110	1.00	1.21	1.43	1.66	1.91	2.17	2.44
120	1.00	1.19	1.38	1.59	1.80	2.02	2.25
130	1.00	1.17	1.34	1.52	1.70	1.89	2.09
140	1.00	1.15	1.30	1.46	1.62	1.78	1.94
150	1.00	1.13	1.26	1.39	1.52	1.66	1.79
160	1.00	1.12	1.24	1.36	1.47	1.59	1.71
170	1.00	1.11	1.21	1.31	1.41	1.51	1.61
180	1.00	1.09	1.18	1.27	1.36	1.45	1.53
190	1.00	1.08	1.16	1.24	1.31	1.39	1.46
200	1.00	1.08	1.15	1.22	1.28	1.35	1.41

Tabla 2-11: Factor de ajuste por presión de neumático (Fp) para Ejes Equivalentes (EE).

Fuente: Elaborado en base a correlaciones con la figura IV-4 E4L Adjustment Factor for Tire Pressures del Manual MS-1 del Instituto de Asfalto.

Nota:

- EE = Ejes Equivalentes.
- Presión de Inflado del Neumático (PIN): está referido al promedio de presiones de inflado de neumáticos por tipo de vehículo pesado.
- Presión del Contacto del Neumático (PCN): igual al 90% del promedio de presiones de inflado de neumáticos por tipo de vehículo pesado.
- Para espesores menores de capa de rodadura asfáltica, se aplicará el factor de ajuste igual al espesor de 50 mm.

Para el cálculo del número de repeticiones de ejes equivalentes de 8.2 tn., en el periodo de diseño, se usará la siguiente expresión por tipo de vehículo, el resultado final será la sumatoria de los diferentes tipos de vehículos pesados considerados:

$$N_{rep\ de\ EE\ 8.2\ tn} = \sum [EE_{dia} - carril \times F_{ca} \times 365]$$

Dónde:

Nrep de EE 8.2 tn. =	Número de Repeticiones de Ejes Equivalentes de 8.2 tn.
EE día-carril =	<p>$EE_{\text{día-carril}}$ = Ejes Equivalentes por cada tipo de vehículo pesado, por día para el carril de diseño. Resulta del IMD por cada tipo de vehículo pesado, por el Factor Direccional, por el Factor Carril de diseño, por el factor vehículo pesado del tipo seleccionado y por el factor de presión de neumáticos. Para cada tipo de vehículo pesado, se aplica la siguiente relación:</p> $EE_{\text{día-carril}} = \text{IMD}_{p_j} \times F_d \times F_c \times F_{vp_j} \times F_{p_j}$ <p>Donde:</p> <p>IMD_{p_j}: corresponde al Índice Medio Diario según tipo de vehículo pesado seleccionado (j) F_d: Factor direccional, según cuadro N° 2.8. F_c: Factor carril de diseño, según cuadro N° 2.8. F_{vp_j}: Factor vehículo pesado del tipo seleccionado (j) calculado según su composición de ejes. Representa el número de ejes equivalentes promedio por tipo de vehículo pesado (bus o camión), y el promedio se obtiene dividiendo el total de ejes equivalentes (EE) de un determinado tipo de vehículo pesado entre el número total de tipo del vehículo pesado seleccionado. F_p: Factor de presión de neumáticos, según cuadro 2.23</p>
Fca =	Factor de crecimiento acumulado por tipo de vehículo pesado (según cuadro 2.13).
365 =	Número de días del año.
Σ =	Sumatoria de Ejes Equivalentes (EE) de todos los tipos de vehículo pesado, por día para el carril de diseño por factor de crecimiento acumulado por 365 días del año.

d) Clasificación de numero de repeticiones de ejes equivalentes en el periodo de diseño:

El tránsito para diseño de pavimentos, en el presente manual, ha sido clasificado en rangos de número de repeticiones de ejes equivalentes, tal como se indica en las tablas 2-11 y 2-12.

El Manual de Carreteras Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos determina los siguientes rangos en número de repeticiones de ejes equivalentes, para el carril y periodo de diseño.

- **Caminos no Pavimentados:** Los caminos no pavimentados con afirmado (revestimiento granular) tendrán un rango de aplicación de número de repeticiones de EE en el carril y periodo de diseño de hasta 300,000 EE de acuerdo al cuadro.

Tipo tráfico pesado expresado en EE	Rangos de tráfico pesado expresado en EE
T_{NP1}	$\leq 25,000$ EE
T_{NP2}	$> 25,000$ EE $\leq 75,000$ EE
T_{NP3}	$> 75,000$ EE $\leq 150,000$ EE
T_{NP4}	$> 150,000$ EE $\leq 300,000$ EE

Fuente: Manual de Carreteras Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos, sección Suelos y Pavimento.
 Nota: T_{NPX} : T= Tráfico pesado expresado en EE en el carril de diseño.
 NPX= No Pavimentada, X= número de rango (1, 2, 3).

Tabla 2-12: Numero de Repeticiones Acumuladas por Ejes Equivalentes de 8.2 ton, en el carril de diseño para caminos no pavimentados

- **Caminos Pavimentados:** Los caminos pavimentados con pavimentos flexibles, semirrígidos y rígidos, en el Manual de Carreteras Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos están clasificados en quince (15) rangos de número de repeticiones de EE en el carril y periodo de diseño, desde 75000 EE hasta 30'000000 EE, de acuerdo al cuadro 2.25. Los tramos a pavimentar con números de repeticiones de EE mayores a 30'000000, será materia de estudio específico, mediante el cual el ingeniero responsable efectuará un análisis técnico de alternativas de pavimento y justificará la solución adoptada. Los caminos con menor o igual a 1'000000 EE, se consideran como caminos de bajo volumen de tráfico, recomendando un periodo de diseño de 10 años.

Tipos de tráfico pesado expresado en EE	Rangos de tráfico pesado expresado en EE
T _{P0}	> 75,000 EE ≤ 150,000 EE
T _{P1}	> 150,000 EE ≤ 300,000 EE
T _{P2}	> 300,000 EE ≤ 500,000 EE
T _{P3}	> 500,000 EE ≤ 750,000 EE
T _{P4}	> 750,000 EE ≤ 1000,000 EE
T _{P5}	> 1000,000 EE ≤ 1 500,000 EE
T _{P6}	> 1 500,000 EE ≤ 3 000,000 EE
T _{P7}	> 3 000,000 EE ≤ 5 000,000 EE
T _{P8}	> 5 000,000 EE ≤ 7 500,000 EE
T _{P9}	> 7 500,000 EE ≤ 10 000,000 EE
T _{P10}	> 10 000,000 EE ≤ 12 500,000 EE
T _{P11}	> 12 500,000 EE ≤ 15 000,000 EE
T _{P12}	> 15 000,000 EE ≤ 20 000,000 EE
T _{P13}	> 20 000,000 EE ≤ 25 000,000 EE
T _{P14}	> 25 000,000 EE ≤ 30 000,000 EE
T _{P15}	> 30 000,000 EE

Fuente: Manual de Carreteras Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos, sección Suelos y Pavimentos del MTC.
 Nota: T_{Px} T = Tráfico pesado expresado en EE en el carril de diseño.
 PX = Pavimentada, X = número de rango (5,6,7,8,9,10,11,12,13,14,15).

Tabla 2-13: Numero de Repeticiones Acumuladas de Ejes Equivalentes de 8.2 ton, en el carril de diseño para Pavimentos Flexibles, Semirígidos y Rígidos.

Los tramos a pavimentar con números de repeticiones de Ee mayores a 30'000000, será materia de Estudio Especifico mediante el cual el Ingeniero Responsable efectuara un análisis técnico de alternativas de pavimento y justificara la solución adoptada.

Los caminos con menor o igual a 1'000000 EE, se considerara como caminos de bajo volumen de tráfico, recomendando un periodo de diseño de 10 años.

2.6.3. ENSAYO DE CUARTEO DE MUESTRAS

a) Objetivo

Establecer los procedimientos para obtener en el laboratorio la muestra necesaria para realizar los ensayos, de forma que sea representativa de la muestra total recibida.

El presente Modo Operativo no proporciona resultados numéricos, sin embargo si no se sigue cuidadosamente los procedimientos aquí descritos, pueden obtenerse muestras distorsionadas para ser usadas en ensayos subsecuentes.

b) Referencias Normativas

La siguiente norma contiene disposiciones que al ser citada en este texto, constituyen requisitos de este modo operativo.

- Norma Técnica Peruana 350.001 Tamices de ensayo.
- Así mismo, se toma de referencia los lineamientos del MTC respecto a los ensayos normalizados, específicamente el E 105-200.

c) Aparatos

- Tamiz N°4 (4.75 mm).
- Tamiz N°10 (2.00 mm).
- Tamiz N°40 (0.425 mm).
- Mortero, con su mazo cubierto de caucho en la parte inferior
- Cuarteador o aparato para la separación de las muestras.
- Lona para cubrir aproximadamente 2m x 2.5 m
- Pala, cucharón metálico o badilejo para manejar material.

- Varilla metálica, de longitud apropiada.

d) Preparación de las muestras antes del cuarteo

- La muestra de suelo, tal como fue recibida, se seca al aire colocándola en forma extendida sobre una superficie plana horizontal
- Se desmenuza el material, deshaciendo los terrones utilizando el mortero.

e) Procedimientos

- Cuarteo mecánico
 - La muestra de campo se vierte en la tolva, y se distribuye uniformemente de extremo a extremo, de manera que, aproximadamente, igual cantidad fluya libremente a través de cada cajuela a los recipientes colocados debajo. La muestra depositada en uno de los recipientes se reintroduce al aparato las veces que sea necesaria para reducir su tamaño a la cantidad especificada para el ensayo. La porción de muestra acumulada en el otro recipiente se debe reservar para otros ensayos.
- Cuarteo manual: se pueden usar cualquiera de los dos métodos que se describen a continuación:
 - Se coloca la muestra sobre una superficie dura, limpia y horizonte evitando cualquier pérdida de material o la adición de sustancias extrañas. Se mezcla bien hasta formar una pila en forma de cono, repitiendo esta operación cuatro veces. Cada palada tomada de la base

se deposita en la parte superior del cono, de modo que el material caiga uniformemente por los lados del mismo. Cuidadosamente se plana y extiende la pila cónica hasta darle una base circular, espesor y diámetro uniforme, presionando hacia abajo con la cuchara de la pala, de tal manera que cada cuarto del sector contenga el material original. El diámetro debe ser aproximadamente cuatro a ocho veces el espesor. Se procede luego a dividir diametralmente el material en cuatro partes iguales, de las cuales se separan dos cuartos diagonalmente opuestos, incluyendo todo el material fino limpiando luego con cepillo o escoba los espacios libres. Los dos cuartos restantes se mezclan sucesivamente y se repite la operación hasta obtener la cantidad de muestra requerida.

- Como una alternativa al procedimiento anterior, cuando la superficie no es uniforme, la muestra de campo se coloca sobre una lona, en la cual se homogeniza la muestra original por paleo, como se ha descrito en el anterior procedimiento. Se puede operar también, mezclando el material mediante la elevación alternativa de las esquinas de la lona tirando hacia la muestra, como si se tratara de doblar la lona diagonalmente haciendo roda el material. En cualquiera de los casos se procede a aplanar y extender la pila como el procedimiento anterior y luego a dividirla o, si la superficie debajo de la lona es irregular, se coloca debajo de esta y en el centro de la muestra una varilla que al levantar sus extremos la

divida en dos partes iguales. Doblando las esquinas de la lona se saca la varilla y se coloca nuevamente debajo del centro de la lona en ángulo recto a la primera división y levantando ambos extremos de la varilla se divide la muestra en cuatro partes iguales. Se descartan dos cuartos de muestra diagonalmente opuestos y cuidadosamente se limpian los finos de la lona. Sucesivamente se mezcla y cuartea el material remanente hasta reducir la muestra a la cantidad deseada.

- Cuando la cantidad de muestra es apropiada para ello, puede operarse encima de una mesa con una paleta o cuchara pequeña, siguiendo un criterio análogo al descrito en los anteriores procedimientos.
- División de una muestra en dos fracciones por medio de un tamiz. Se pasa la muestra por el tamiz que se trate. Se disgregan los terreros que aún quedan sin desmenuzarse en la fracción retenida y se tamiza de nuevo, reuniendo lo que pase con la misma fracción del primer tamizado. Se repite esta operación cuantas veces sea necesario hasta dejar el material retenido limpio de finos. En los casos difíciles resulta útil subdividir lo retenido mediante tamices, en dos o tres partes, con objeto de facilitar la disgregación con el mazo de caucho. En general cuando se tamice una muestra representativa (ya cuarteada) para obtener otra fracción más fina también más representativa, se ha de tamizar hasta terminar la operación con toda la muestra.

Aunque se obtenga antes la cantidad de muestra necesaria para los ensayos a realizar, debe seguirse el tamizado hasta el final.

2.6.4. ENSAYO DE GRANULOMETRIA

a) Objetivo

- Determinación cuantitativa de la distribución de tamaños de partículas de suelo.
- Esta norma describe el método para determinar porcentajes de suelo que pasan por los distintos tamices de la serie empleada en el ensayo, hasta el de 74mm (N°200)

b) Aparatos

- 75 mm (3”), 50.8 mm (2”), 38.1 mm (1 ½”), 25.4 mm (1”), 19.0 mm (¾”), 9.5 mm (3/8”), 4.76 mm (N°4), 2.00 mm (N°10), 0.84 mm (N°20), 0.425 mm (N°40), 0.250 mm (N°60), 0.106 mm (N°140) y 0.075 mm (N°200). Se puede usar, como alternativa, una serie de tamices que, al dibujar la gradación, de una separación uniforme entre los puntos del grafico; esta serie estará integrada por los siguientes: 75 mm (3”), 37.5 mm (1-½”), 9.5 mm (3/8”), 4.75 mm (N°4), 2.36 mm (N°8), 1.10 mm (N°16), 600 mm (N°30), 300 mm (N°50), 150 mm (N°100), 75 mm (N°200).
- Estufa, capaz de mantener temperaturas uniformes y constantes hasta de 110 +- 5°C (230 +- 9°F).
- Envases, adecuados para el manejo y secado de las muestras.
- Cepillo y brocha, para limpiar las mallas de los tamices.

c) Muestra

- Según sean las características de los materiales finos de la muestra, el análisis con tamices se hace, bien con la muestra entera, o bien con parte de ella después de separar los finos por lavado. Si la necesidad del lavado no se puede determinar por examen visual, se seca en el horno una pequeña porción húmeda del material y luego se examina su resistencia en seco rompiéndola entre los dedos. Si se puede romper fácilmente y el material fino se pulveriza bajo la presión de aquellos, entonces el análisis con tamices se puede efectuar sin previo lavado.
- Prepárese una muestra para el ensayo como se describe en la preparación de muestras para análisis granulométrico (MTC E 106), la cual estará constituida por dos fracciones: una retenida sobre el tamiz de 4.760 mm (N°4) y otra que pasa dicho tamiz. Ambas fracciones se ensayaran por separado.
- El peso del suelo secado al aire y seleccionado para el ensayo, como se indica en el modo operativo MTC E 106, será suficiente para las cantidades requeridas para el análisis mecánico, como sigue:
 - Para la porción de muestra retenida en el tamiz de 4.760 mm (N°4) el peso dependerá del tamaño máximo de las partículas de acuerdo con la siguiente Tabla:
 - El tamaño de la porción que pasa tamiz de 4.760 mm (N°4) será aproximadamente de 115 gramos para suelos arenosos y de 65 gramos para suelos arcillosos y limosos.
- En el modo operativo MTC E 106 se dan indicaciones para la pesada del suelo secado al aire y seleccionado para el ensayo, así como para la separación del suelo sobre el tamiz de 4.760 mm (N°4) por medio del tamizado en seco, y para el lavado y pesado de las fracciones lavadas y secadas retenidas en dicho

tamiz. De estos dos pesos, los porcentajes, retenido y que pasa el tamiz de 4.760 mm (N°4).

- Se puede tener una comprobación de los pesos, así como de la completa pulverización de los terrones, pesando la porción de muestra que pasa el tamiz de 4.760 mm (N°4) y agregándole este valor al peso de la porción de muestra lavada y secada en el horno, retenida en el tamiz de 4.760 mm (N°4)

d) Análisis por medio de tamizado de la fracción retenida en el tamiz de 4.760 mm (N°4)

- Sepárese la porción de muestra retenida en el tamiz de 4.760 mm (N°4) en una serie de fracciones usando los tamices de: 75 mm (3”), 50 mm (2”), 38.1 mm (1 1/2”), 25.4 mm (1”), 19.0 mm (3/4”), 9.5 mm (3/8”), 4.7 mm (N°4), o los que sean necesarios dependiendo del tipo de muestra, o de las especificaciones para el material que se ensaya.
- En la operación de tamizado manual se mueve el tamiz o tamices de un lado a otro, recorriendo circunferencias de forma que la muestra se mantenga en movimiento sobre la malla. Debe comprobarse al desmontar los tamices que la operación está terminada; esto se sabe cuándo no pasa más de 1% de la parte retenida al tamizar durante un minuto, operando cada tamiz individualmente. Si quedan partículas apresadas en la malla, deben separarse con un pincel o cepillo y reunir las con lo retenido en el tamiz. Cuando se utilice una tamizadora mecánica, se pondrá a funcionar por diez minutos aproximadamente; el resultado se puede verificar usando el método manual.

- Se determina el peso de cada fracción en una balanza con una sensibilidad de 0.1%. la suma de los pesos de todas las fracciones y el peso, inicial de la muestra no debe diferir en más de 1%.

e) Análisis granulométrico de la fracción fina

- El análisis granulométrico de la fracción que pasa el tamiz de 4.76 mm (N°4), se hará por tamizado y/o sedimentación según características de la muestra y según la información requerida.
 - Los materiales arenosos que contengan muy poco limo y arcilla, cuyos terrones en estado seco se desintegren con facilidad, se podrán tamizar en seco.
 - Los materiales limo-arcillosos, cuyos terrenos en estado seco no compran con facilidad, se procesaran por la vía húmeda.
 - Si se requiere la curva granulométrica completa incluyendo la fracción de tamaño menor que el tamiz de 0.074 mm (N°200), la gradación de esta se determinara por sedimentación, utilizando el hidrómetro para obtener los datos necesarios.
 - Se pueden utilizar procedimientos para la determinación del contenido de partículas menos de un cierto tamaño, según se requiera.
 - La fracción de tamaño mayor que el tamiz de 0.074 mm (N°200) se analizara por tamizado en seco, lavando la muestra previamente sobre el tamiz de 0.074 mm (N°200).

- Procedimiento para el análisis granulométrico por lavado sobre el tamiz de 0.074 mm (N°200).
 - Se separan mediante cuarteo, 115 gramos para suelos arenosos y 65 gramos para suelos arcillosos y limosos, pesándolo con exactitud de 0.01 gramo.
 - Humedad higroscópica. Se pesa una porción de 10 a 15 gramos de los cuarteos anteriores y se seca en el horno a una temperatura de $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$ ($230 \pm 9^{\circ}\text{F}$). se pesan de nuevo y se anotan los pesos.
 - Se coloca la muestra en un recipiente apropiado, cubriéndola con agua y se deja en remojo hasta que todos los terrenos se ablanden.
 - Se lava a continuación la muestra sobre el tamiz de 0.074 mm (N°200) con abundante agua, evitando frotarla contra el tamiz y teniendo mucho cuidado de que no se pierda ninguna partícula de las retenidas en él.
 - Se recoge lo retenido en un recipiente, se seca en el horno a una temperatura de $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$ ($230 \pm 9^{\circ}\text{F}$) y se pesa.
 - Se tamiza en seca siguiendo el procedimiento indicado en las secciones 4.2 y 4.3.

f) Cálculos

- Valores de análisis de tamizado para la porción retenida en el tamiz de 4.760 mm (N°4).
 - Se calcula el porcentaje que pasa el tamiz de 4.760 mm (N°4) dividiendo el peso que pasa dicho tamiz por el del suelo originalmente tomado y se multiplica el resultado por 100. Para obtener el peso de la porción retenida en el mismo tamiz, réstese del peso original, el peso del pasante por el tamiz de 4.76 mm (N°4)

- Para comprobar el material que pasa por el tamiz de 9.52 mm (3/8”), se agrega al peso total del suelo que pasa por el tamiz de 4.760 mm (N°4) el peso de la fracción que pasa el tamiz de 9.52 mm (3/8”) y que se queda retenida en el de 4.760 mm (N°4). Para los demás tamices continúese el cálculo de la misma manera.
- Para determinar el porcentaje total que pasa por cada tamiz, se divide el peso total que pasa entre el peso total de la muestra y se multiplica el resultado por 100.
- Valores del análisis por tamizado para la porción que pasa el tamiz de 4.760 mm (N°4)
 - Se calcula el porcentaje del material que pasa por el tamiz de 0.074 mm (N°200) de la siguiente forma:

$$\% \text{ pasa } 0.074 = \frac{\text{Peso total} - \text{Peso Retenido en el tamiz de } 0.074 \text{ mm}}{\text{Peso Total}} \times 100$$

- Se calcula el porcentaje retenido sobre cada tamiz en la siguiente forma:

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

- Se calcula el porcentaje más fino. Restando en forma acumulativa de 100% los porcentajes retenido sobre cada tamiz.

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

- Porcentaje de humedad higroscópica. La humedad higroscópica como la pérdida de peso de una muestra seca al aire cuando se seca posteriormente al horno, expresada como porcentaje del peso de la muestra secada al horno. Se determina de la manera siguiente:

$$\% \text{ Humedad Higroscopica} = \frac{W - W1}{W1} \times 100$$

Dónde:

- W = Peso de suelo secado al aire
- W1 = Peso de suelo secado en el horno

g) Observaciones:

- El informe deberá influir lo siguiente:
 - El tamaño máximo de las partículas contenidas en la muestra
 - Los porcentaje retenidos y los que pasan, para cada uno de los tamices utilizados
 - Toda información que se juzgue de interés

Los resultados se presentaran: (1) en forma tabulada, o (2) en forma gráfica, siendo esta última forma la indicada cada vez que el análisis comprenda un ensayo completo de sedimentación.

Las pequeñas diferencias resultantes en el empate de las curvas obtenidas por tamizado y por sedimento, respectivamente, se corregirán en forma gráfica.

- Los siguientes errores posibles producirán determinaciones imprecisas en un análisis granulométrico por tamizado.

- Aglomeraciones de partículas que no han sido completamente disgregadas. Si el material contiene partículas finas plásticas, la muestra debe ser disgregada antes del tamizado.
- Tamices sobrecargados. Este es el error más común y más serio asociado con el análisis por tamizado y tendera a indicar que el material ensayado es más grueso de lo que en realidad es. Para evitar esto, las muestras muy grandes deben ser tamizadas en varias porciones y las porciones retenidas en cada tamiz se juntaran luego para realizar la pesada.
- Los tamices han sido agitados por un periodo demasiado corto o con movimientos horizontales o rotaciones inadecuados. Los tamices deben agitarse de manera que las partículas sean expuestas a las aberturas del tamiz con varias orientaciones y así tengan mayor oportunidad de pasas a través de él.
- La malla de los tamices está rota o deformada; los tamices deben ser frecuentemente inspeccionados para asegurar que no tiene aberturas más grandes que la especificada.
- Perdidas de material al secar al retenido de cada tamiz.
- Errores en las pesadas y en los cálculos.

2.6.5. ENSAYO DE LIMITE LÍQUIDO

a) Objetivo

El límite líquido de un suelo es el contenido de humedad expresado en porcentaje del suelo secado en el horno, cuando este se halla en el límite entre el estado plástico y el estado líquido. Su valor calculado deberá aproximarse al centésimo.

b) Aparatos

- Recipiente para almacenaje: una vasija de porcelana de mm (4 ½”) de diámetro aproximadamente.
- Espátula de hoja flexible de unos 75 a 100 mm (3” – 4”) de longitud y 20 mm (3/4”) de ancho aproximadamente.
- Aparato del límite líquido (Cuchara de Casagrande)
- Acanalador
- Calibrador, ya sea incorporado al ranurador o separado
- Recipiente o pesa filtros, de material resistente a la corrosión y cuya masa no cambie con repetidos calentamientos y enfriamientos.
- Balanza. Una balanza con sensibilidad de 0.01 gramo.
- Estufa, termostáticamente controlada y que pueda conservar temperaturas de 110+/-5°C para secar la muestra.

c) Muestra

Tómese una muestra que pese 150-200 gramos de una porción de material completamente mezclado que pase el tamiz de 0.425 mm (N°40).

d) Ajustes del aparato

- Deberá inspeccionarse el aparato de límite líquido para verificar que se halle en buenas condiciones de trabajo. El pin que conecta la taza no debe estar tan gastado, que tenga juego lateral, ni el tornillo que la conecta, hallarse tan gastado por el largo uso.

- Por medio del calibrador del mango del ranurador y la platina de ajuste, ajústese a una altura a la cual se levanta la taza, de tal manera que el punto que hace contacto con la base al caer este exactamente a 1 centímetro sobre esta. Si es correcto, un sonido de roce se oirá cuando la excéntrica golpea contra la taza, si se levanta del calibrador o no se oye ruido, hágase un nuevo el ajuste

e) Procedimiento

- Colóquese la muestra de suelo en la vasija de porcelana y mézclese completamente con 15 a 20 ml de agua destilada, agitándola, amasándola y tajándola con una espátula en forma alternada y repetida. Realizar más adicionales de agua en incrementos de 1 a 3 ml, mézclese completamente cada incremento de agua con el suelo como se ha descrito previamente, antes de cualquier nueva adición.
- Cuando haya sido mezclada suficiente agua completamente con el suelo y la consistencia producida requiera de 30 a 35 golpes de la cazuela de bronce para que se ocasione el cierre, colóquese una porción de la mezcla en la cazuela sobre el sitio en que esta reposa en la base, y comprímase hacia abajo, extiéndase el suelo hasta obtener una semiplataforma, teniendo cuidado de evitar la inclusión de burbujas de aire dentro de la masa. Nivélese el suelo con la espátula y al mismo tiempo emparéjeselo hasta conseguir una profundidad de 1 centímetro en el punto de espesor máximo. Regrésese el exceso de suelo a la vasija de porcelana.
- Divídase el suelo en la taza de bronce por pasadas firmes del acanalador a lo largo del diámetro y a través de la línea central de la masa del suelo de modo que se forme una ranura limpia

u de dimensiones apropiadas. Para evitar rasgaduras en los lados de la ranura o escurrimientos de la pasta del suelo a la cazuela de bronce, se permite hacer hasta 6 pasadas de adelante hacia atrás o de atrás hacia adelante, contando cada recorrido como una pasada; con cada pasada el acanalador debe penetrar un poco más profundo hasta que la última pasada de atrás hacia adelante limpie el fondo de la cazuela. Hágase una ranura con el menor número de pasadas posible,

- Elévese y golpéese la taza de bronce girando la manija de la cuchara de Casagrande, a una velocidad de 1.9 a 2.1 golpes por segundo, hasta que las dos mitades de la pasta de suelo de pongan en contacto en el fondo de la ranura, a lo largo de una distancia de 13 mm (0.5”). anótese el número de golpes requeridos para cerrar la ranura. En lugar de fluir sobre la superficie de la taza, algunos suelos tienden a deslizarse. Cuando esto ocurra, deberá agregarse más agua a la muestra y mezclarse de nuevo, se hará la ranura con el acanalador y se repetirá nuevamente este paso, si el suelo sigue deslizándose sobre la taza de bronce a un numero de golpes inferior a 25, no es aplicable este ensayo y deberá indicarse que el limite liquido no se puede determinar.
- Sáquese una tajada de suelo aproximadamente del ancho de la espátula, tomándola de uno y otro lado, en un ángulo recto con la ranura e incluyendo la porción de esta en la cual se hizo contacto y colóquese en un recipiente adecuado. Pésese y anótese, así mismo colocar el suelo dentro del pesafiltro en el horno a 110 +/- 5°C hasta obtener peso constante y vuélvase a pesar tan pronto como se haya enfriado pero antes de que pueda haber absorbido humedad higroscópica. Anótese el

peso, así como la pérdida de peso debida al secamiento y el peso del agua.

- Transfiérase el suelo sobrante en la taza de bronce a la capsula de porcelana. Lávese y séquese la taza de bronce y el ranurador y ármese de nuevo el aparato del límite líquido para repetir el ensayo.
- Repítase la operación anterior por lo menos en dos ensayos adicionales, con el suelo restante en la vasija de porcelana, al que se le ha agregado agua suficiente para ponerlo en un estado de mayor fluidez. El objeto de este procedimiento es obtener muestras de tal consistencia que al menos una de las determinaciones del número de golpes requeridos para cerrar la ranura del suelo se hallen en cada uno de los siguientes intervalos: 25-35; 20-30; 15-25. De esta manera, el alcance de las 3 determinaciones debe ser de 10 golpes.

f) Cálculos

- Calcúlese el contenido de humedad del suelo, expresándolo como porcentaje del peso del suelo secado en el horno, como indica la siguiente ecuación:

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

- Para preparar la curva de fluidez, se representa en la relación entre el contenido de humedad y el correspondiente número de golpes de la taza de bronce, graficado en papel semilogaritmico. Con el contenido de humedad como ordenada sobre la escala aritmética y el número de golpes como abscisa

sobre la escala logarítmica, de tal manera que la curva de flujo es una línea recta promedia, que pasa tan cerca como sea posible a través de los tres o más puntos dibujados.

- Para hallar el límite líquido de la muestra, se toma el contenido de humedad correspondiente a la intersección de la curva de flujo con la ordenada de 25 golpes como límite líquido del suelo y aproxímese este valor a un número entero.

2.6.6. ENSAYO DE LIMITE PLASTICO

a) Objetivo

Es la determinación en el laboratorio del límite plástico de un suelo y el calco del índice de plasticidad si se conoce el límite líquido del mismo suelo.

b) Aparatos

- Espátula de hoja flexible, de unos 75 a 100 mm de longitud por 20 mm de ancho
- Recipiente para almacenaje de 115mm de diámetro
- Balanza con aproximación de 0.1 gramo
- Horno o estufa termostáticamente controlado regulable a $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$
- Tamiz de 426 μm
- Agua destilada
- Vidrios de reloj, o recipientes adecuados para determinación de humedades
- Superficie de rodadura. Comúnmente se utiliza un vidrio grueso esmerilado.

c) Preparación de la muestra

- Si se requiere determina solo el L.P: se toman aproximadamente 20 gramos de la muestra que pase por el tamiz de 426 mm, preparado para el ensayo de límite líquido. Se amasa con agua destilada hasta que pueda formarse con facilidad una esfera con la masa del suelo. Se toma una porción de 1.5 gramo a 2.0 gramos de dicha esfera como muestra para el sayo.
- El sacado precio del material en horno o estufa, o al aire, puede cambiar el límite plástico de un material con material orgánico, pero este cambio puede ser poco importante.
- Si se requieren el límite líquido y el límite plástico, se toma una muestra de unos 15 gramos de la porción de suelo humedecida y amasada. La muestra debe tomarse en una etapa del proceso de amasado en que se pueda formar fácilmente con ella una esfera, sin que se pegue demasiado a los dedos al aplastarla.
- Si el ensayo se ejecuta después de realizar el del límite líquido y en dicho intervalo la muestra se ha secado, se añade más agua.

d) Procedimiento

- Se moldea la mitad de la muestra en forma de elipsoide y, a continuación, se rueda con los dedos de la mano sobre una superficie lisa, con la presión estrictamente necesaria para formar cilindros.
- Si antes de llegar el cilindro a un diámetro de unos 3.2 mm no se ha desmoronado, se vuelve a hacer un elipsoide y a repetir

el proceso, cuando veces sea necesario, hasta que se desmorone aproximadamente con dicho diámetro.

- El desmoronamiento puede manifestarse de modo distinto, en los diversos tipos de suelo:
 - En suelo muy plásticos, el cilindro que dividido en trozos de unos 6mm de longitud, mientras que en suelos plásticos los trozos son más pequeños.
- La porción así obtenida se coloca en vidrios de reloj o pesa-filtros tarados, se continua el proceso hasta reunir unos 6 gramos de suelo y se determina la humedad de acuerdo a la guía de determinación del contenido de humedad.
- Se repite, con la otra mitad de la masa, el proceso indicado.

e) Cálculos

- Calculas el promedio de dos contenidos de humedad. Repetir el ensayo si la diferencia entre los dos contenidos de humedad es mayor que el rango aceptable para dos resultados listados en la tabla 1 para la precisión de un operador.
- El límite plástico es el promedio de las humedades de ambas determinaciones. Se expresa como porcentaje de humedad, con aproximación de un entero y se calcula con la siguiente formula:

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

2.6.7. ENSAYO DE PROCTOR

a) Objetivo

- Este ensayo abarca los procedimientos de compactación usados en laboratorio, para determinar la relación entre el contenido de agua y peso unitario seco de los suelos compactados en un molde de 4 o 6 pulgadas de diámetro con un pisón de 1 lbf que cae de una altura de 18 pulgadas, produciendo una energía de compactación de 56000 lb-pie/pie³.
- Este ensayo se aplica solo para suelos que tienen 30% o menos en peso de sus partículas retenidas en el tamiz de $\frac{3}{4}$ " (19.0 mm).
- Se proporciona 3 métodos alternativos. El método usado debe ser indicado en las especificaciones del material a ser ensayado. Si el método no está especificado, la elección se basará en la gradación del material.
 - Método A: con un molde de 4 pulgadas de diámetro, se emplea el material que pasa por el tamiz N°4, con 5 capas en el molde a 25 golpes por cada capa y cuando menos el 20% o menos del peso del material es retenido en el tamiz N°4.
 - Método B: con un molde de 4 pulgadas de diámetro, se emplea el material que pasa por el tamiz de $\frac{3}{8}$ ", con 5 capas en el molde, a 25 golpes por cada capa y cuando más del 20% del peso del material es retenido en el tamiz N°4, así como también 20% o menos de peso del material es retenido en el tamiz $\frac{3}{8}$ ".
 - Método C: con un molde de 6 pulgadas de diámetro, se emplea el material que pasa por el tamiz de $\frac{3}{4}$ ", con 5 capas en el molde a 56 golpes por cada capa y cuando más del 20% del peso del material es retenido en el

tamiz 3/8”, así como también menos del 30% de peso del material es retenido en el tamiz 3/4”.

- Si el espécimen de prueba contiene más de 5% en peso de fracción extra dimensionada (fracción gruesa) y el material no será incluido en la prueba se deben hacer correcciones al peso unitario y contenido de agua del espécimen de ensayo o la densidad de campo usando el método del ensayo ASTM D-4718
- Este método de prueba generalmente producirá un peso unitario seco máximo bien definido para suelos que no drenan libremente. si el método es usado para suelos que drenan libremente el máximo peso unitario seco no estará bien definida y puede ser menor que la obtenida usando el método de prueba ASTM D-4253 (Maximum Index Density And Unit Weight Of Soli Using A Vibratory Table).
- Los valores de las unidades en pulgadas-libras son reconocidos como estándar. los valores dados en unidades del S.I. son proporcionados solo como información.
- Esta norma no hace referencia a todos los riesgos relacionadas con este uso, si los hubiera. es responsabilidad del usuario establecer la seguridad apropiada y prácticas o pruebas confiables y así determinar la aplicabilidad de limitaciones regulatorias antes de su uso.

b) Terminología

- Descripción de términos específicos a esta norma:

- Esfuerzo estándar.- es el termino aplicado para el esfuerzo de compactación de 12400 lb-pie/pie³ (600 kN-m/m³ aplicado por el equipo y procedimientos de este ensayo).
- Peso unitario seco máximo estándar, el máximo valor definido por la curva de compactación del ensayo usando el esfuerzo estándar.
- Optimo contenido de humedad estándar.- es el contenido de agua al cual el suelo puede ser compactado al máximo peso unitario seco usando el esfuerzo de Compactación Estándar.
- Fracción de tamaño mayor (fracción Gruesa), pc (%).- es la porción de la muestra total que no se utiliza en la ejecución del ensayo de compactación; esta puede ser la parte de la muestra total retenida en la malla N°4 (3,74 mm), 3/8 pulg (9,5 mm) o ¾ pulg (19,0 mm).
- Fracción ensayada o de prueba (Fracción Fina) Pf (%).- la parte de la muestra total usada en la ejecución de la prueba de compactación; esta puede ser la fracción pasante la malla N°4 (4,75 mm) en el método A, menor a la malla 3/8 pulg (9,5 mm) en el método B, o menor que la malla ¾ pulg (19,0 mm) en el método C.

c) Resumen del Ensayo

- Un suelo con un contenido de Humedad determinado es colocado en 3 capas dentro de un molde de ciertas dimensiones, cada una de las capas es compactada en 25 o 36 golpes con un pisón de 5,56 lbf (24,4 N) desde una altura de

caída de 12 pulgadas (305 mm), sometido al suelo a un esfuerzo de compactación total de aproximadamente de 12400 pie-lbf/pie³ (600 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. 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 Optimo Contenido de Agua y Máximo Peso Unitario Seco Modificado son determinados de la Curva de Compactación.

d) Importancia y Uso

- El suelo utilizado como relleno en ingeniería (terraplenes, rellenos de cimentación, bases para caminos) se compacta a un estado denso para obtener propiedades satisfactorias en Ingeniería tales como: resistencia al esfuerzo de corte, compresibilidad o permeabilidad. También los suelos de cimentaciones son a menudo compactados para mejorar sus propiedades de Ingeniería, los ensayos de Compactación en Laboratorio proporcionan las bases para determinar el porcentaje de compactación y contenido de agua que se necesitan para obtener las propiedades de Ingeniería requeridas, y para el control de la construcción para asegurar la obtención de la compactación requerida y los contenidos de agua.

- Durante el diseño de los rellenos de Ingeniería, se utilizan los ensayos de corte consolidación permeabilidad u otros ensayos que requieren la preparación de especímenes de ensayo compactado a algún contenido de agua para algún peso Unitario Seco. Es práctica común, primero determinar el óptimo contenido de humedad (W_o) y el Peso Unitario Seco (γ_{max}) mediante un ensayo de compactación. Los especímenes de compactación a un contenido de agua seleccionado (w), sea del lado húmedo o seco del óptimo (W_o) y a un Peso Unitario seco seleccionado relativo a un porcentaje del Peso Unitario Seco máximo (γ_{max}). La selección del contenido de agua (w), sea del lado húmedo o seco del óptimo y el Peso Unitario Seco (γ_{max}) se debe basar en experiencias pasadas, o se deberá investigar una serie de valores para determinar el porcentaje necesario de compactación.

e) Aparatos

- **Ensamblaje del molde:** los moldes deben de ser cilíndricos hechos de materiales rígidos y con capacidad de 4 pulgadas y 6 pulgadas. Las paredes del molde deberán ser sólidas, partidas o ahusadas. El tipo “partido” deberá tener dos medias secciones circulares, o una sección de tubo dividido a lo largo de un elemento que se pueda cerrar en forma segura formando un cilindro que reúna los requisitos de esta sección. El tipo “ahusado” debe tener un diámetro interno tipo para que sea uniforme y no mida más de 0.200 pulgadas/pie de altura del molde. Cada molde tiene un plato base y un collar de extensión ensamblado, ambos de metal regido y contruidos de modo que puedan adherir de forma segura y fácil de desmoldar. El

ensamblaje collar de extensión debe tener una altura que sobrepase la parte más alta del molde por lo menos 2.0 pulgadas (50.8 mm) que una sección superior que sobrepasa para formar un tubo con una sección cilíndrica recta de por lo menos 0.75 pulgadas (19.0 mm), por debajo de esta. El collar de extensión debe de alinearse con el interior del molde, la parte inferior del plato base y del área central ahuecada que acepta el molde cilíndrico debe ser plana.

- **Pisón o martillo:** un pisón operado manualmente o mecánicamente. El pisón debe caer libremente a una distancia de 18 +/- 5 pulgadas de la superficie de espécimen. La masa del pisón será 10 +/- 0.02 libra-metro, salvo que la masa pisón mecánico se ajuste al descrito en el Método de Ensayo ASTM D2168. La cara golpe ante del pisón deberá ser plan y circular, excepto el Pisón Mecánico – Cara Seleccionada, con un diámetro de 2.000+/-0.005 pulgadas. El pisón deberá ser reemplazado si la cara golpeante se desgasta o se deforma al punto que el diámetro sobrepase los 2.000+/-0.01 pulgadas.
- **Extractor de muestras:** puede ser una gata, estructura u otro mecanismo adaptado con el propósito de extraer los especímenes compactados del molde.
- **Balanza:** una balanza de tipo GP5 que reúna los requisitos de la Especificación ASTM D-4753 (“especificación, Evaluación, Selección y Elección de balanzas y escalas para uso de muestras de suelos y rocas”), para una aproximación de 1 gramo.
- **Horno de Secado:** con control termostático preferiblemente del tipo de ventilación forzada, capaz de mantener una temperatura uniforme de 230 +/- 9°F a través de la cámara de secado.

- **Regla:** una regla metálica, rígida de una longitud conveniente pero no menor que 10 pulgadas. La longitud total de la regla recta debe ajustarse directamente a una tolerancia de ± 0.005 pulgada. El borde de arrastre debe ser biselado si es más grueso que $1/8$ pulgada.
- **Herramienta de Muestra:** diversas herramientas tales como cucharas, mezclador, paleta, espátula, botella de spray, etc. o un aparato mecánico apropiado para la mezcla completo de muestra de suelo con incrementos de agua.

f) Muestra del Ensayo:

- La muestra requerida para el Método A y B es aproximadamente 35 libras (16 kg) y para el método C es aproximadamente 65 libras (29 kg) de suelo seco. Debido a esto, la muestra de campo debe tener un peso húmedo de al menos 50 libras (23 kg) y 100 libras (45kg) respectivamente.
- Determinar el porcentaje de material retenido en la malla N°4, 3/8” o 3/4” para escoger el Método A, B o C respectivamente. Realizar esta determinación separando una porción representativa de la muestra total y establecer los porcentajes que pasan las mallas de interés mediante el Método de Análisis por tamizado de Agregado Grueso y Fino. Solo es necesario para calcular los porcentajes para un tamiz o tamices de las cuales la información es deseada.

g) Procedimiento

▪ Suelos

- No volver a usar el suelo que ha sido compactado previamente en Laboratorio.
- Utilizar el método de preparación húmedo y cuando se ensaye con suelos que contienen hallosita hidratada o donde la experiencia con determinados suelos indica que los resultados pueden ser alterados por el secado al aire.
- Preparar los especímenes del suelo para el ensayo de acuerdo a lo siguiente:

▪ Método de preparación húmeda.- sin secado previo de la muestra, pásela a través del tamiz N°4, 3/8” o 3/4”, dependiendo del método a ser usado (A, B o C).

- Prepare mínimo cuatro o cinco especímenes con contenidos de agua de modo que estos tengan un contenido de agua lo más cercano al óptimo estimado. Un espécimen que tiene un contenido de humedad cercano al óptimo deberá ser preparado primero, por adicionales de agua y mezcla, seleccionar los contenidos de agua para el resto de los especímenes de tal forma que resulten por lo menos de especímenes húmedos y dos secos de acuerdo al contenido óptimo de agua, que varíen alrededor del 2%. Como mínimo es necesario dos contenidos de agua en el lado seco y húmedo del óptimo para definir exactamente la curva de compactación. Algunos suelos con muy alto óptimo contenido de agua o una curva de compactación relativamente plana requieren grandes incrementos de

contenido de agua para obtener un Peso Unitario Seco Máximo bien definido. Los incrementos de contenido de agua no deberán exceder de 4%.

- Usar aproximadamente 5 libras (2.30 kilogramos) del suelo tamizado en cada espécimen que se compacta empleando los métodos A o B; o 13 libras (5.90 kilogramos) cuando se emplee el método C. para obtener los contenidos de agua del espécimen que se indica en el punto anterior, añada o remueva las cantidades requeridas de agua de la siguiente manera. Añada un poco de agua al suelo durante la mezcla; para sacar el agua, deje que el suelo se seque en el aire a una temperatura de ambiente o en un aparato de secado de modo que la temperatura de la muestra no exceda de 140°F (60°C). mezclar el suelo continuamente durante el proceso de secado para mantener la distribución del agua en todas partes y luego colóquelo aparte en un contenedor con tapa y ubíquelo de acuerdo con la tabla de tiempos establecidos y requeridos para el humedecimiento de especímenes, mostrada a continuación, antes de la compactación:

Clasificación	Tiempo de permanencia mínimo en horas
GW, GP, SW, SP	No se requiere
GM, SM	3
Todos los demás suelos	16

Tabla 2-14: Tiempo de Saturación de muestra para ensayar.

- **Método de Preparación Seca.**- si la muestra está demasiado húmeda, reducir el contenido de agua por secado al aire hasta que el material sea friable. El secado puede ser al aire o por el uso de un aparato de secado tal que la temperatura de la muestra no exceda de 140°F (60°C). disgregar por completo los grumos de tal forma de evitar moler las partículas individuales. Pasar el material por el tamiz apropiado: N°4, 3/8" o 3/4". Durante la preparación del material granular que pasa la malla 3/4" para la compactación en el molde de 6 pulgadas, disgregar o separar los agregados lo suficientemente para que pasen el tamiz 3/8 pulgada de manera de facilitar la distribución de agua a través del suelo en el mesclado posterior.
 - Usar aproximadamente 5 libras (2.3 Kilogramos) del suelo tamizado para cada espécimen a ser compactado cuando se emplee el Método A, B o 13 libras (5.9 Kilogramos) cuando se emplee el Método C, añadir cantidades requeridas de agua para que los contenidos de agua de los especímenes tengan los valores descritos. Seguir la preparación del espécimen por el procedimiento especificado con anterioridad para suelos secos o adición del agua en el suelo y el curado de cada espécimen de prueba.

- **Compactación.**- después del curado si se requiere, cada espécimen se compactara de la siguiente manera:

- Determinar y anotar la mase del molde y el plato de base.
- Ensamble y asegure el molde y el collar al plato base. El molde se apoyara sobre un cimientto uniforme y rígido, como la proporcionada por un cilindro o cubo de concreto con una masa no menor de 200 libras (91 kilogramos). Asegurar el plato base a un cimientto rígido. El método de enlace o unión al cimientto rígido debe permitir un desmolde fácil del molde ensamblado, el collar y el plato base después que se concluya la compactación.
- Compactar el espécimen en cinco capas. Después de la compactación, cada capa deberá tener aproximadamente el mismo espesor. Antes de la compactación, colocar el suelo suelto dentro del molde y extenderlo en una capa de espesor uniforme. Suavemente apisonar el suelo antes de la compactación hasta que este no esté en estado suelto o esponjoso, usando el pisón manual de compactación o un cilindro de 2 pulgadas (5mm) de diámetro. Posteriormente a la compactación de cada uno de las cuatro primeras capas, cualquier suelo adyacente a las paredes del molde que no han sido compactado o extendido cerca de la superficie compactada será recortada. El suelo recortado puede ser incluido con el suelo adicional para la próxima capa. Un cuchillo u otro aparato disponible puede ser usado. La cantidad total de suelo usado será tal que la quinta capa compactada se extenderá ligeramente dentro del collar, pero no excederá 1/4

pulgada (6 mm) de la parte superior del molde. Si la quinta capa se extiende en más de 1/4 pulgada de la parte superior del molde, el espécimen será descartado. El espécimen será descartado cuando el último golpe del pisón para la quinta capa resulta por debajo de la parte superior del molde de compactación.

- Compactar cada capa con 25 golpes para el molde de 4 pulgadas o 56 golpes para el molde de 6 pulgadas.
- Al operar el pisón manual, se debe tener cuidado de evitar la elevación de la guía mientras el pisón sube. Mantener la guía firmemente y dentro de 5° de la vertical. Aplicar los golpes en una relación uniforme de aproximadamente 25 golpes/minuto y de tal manera que proporcione una cobertura completa y uniforme de la superficie del espécimen.
- Después de la compactación de la última capa, remover el collar y plato base del molde, excepto como se especifica en el siguiente paso. El cuchillo debe usarse para ajustar o arreglar el suelo adyacente al collar, soltando el suelo del collar y removiendo sin permitir el desgarro del suelo bajo la parte superior del molde.
- Cuidadosamente enrasar el espécimen compactado, por medio de una regla recta a través de la parte superior e inferior del molde para formar una superficie plana en la parte superior e inferior del molde. Un corte inicial en el espécimen en la parte superior del molde con un cuchillo puede prevenir la caída del suelo por debajo de la parte

superior del molde. Rellenar cualquier hoyo de la superficie, con suelo no usado o despejado del espécimen, presionar con los dedos y vuelva a raspar con la regla recta a través de la parte superior e inferior del molde. Repetir las operaciones mencionadas en la parte inferior del espécimen cuando se halla determinado el volumen del molde sin el plato base. Para suelos muy húmedos o muy secos, se perderá suelo o agua si el plato se remueve. Para estas situaciones, dejar el plato base fijo al molde. Cuando se deja unido el plato base, el volumen del molde deberá calibrarse con el plato base unido al molde o a un plato de plástico o de vidrio.

- Determine y registre la masa del espécimen y molde con aproximación al gramo. Cuando se deja unido el plato base al molde, determine y anote la masa del espécimen, molde y plato de base con aproximación al gramo.
- Remueva el material del molde. Obtener un espécimen para determinar el contenido de agua utilizando todo el espécimen o una porción representativa. Cuando se utiliza todo el espécimen, quíbrelo para facilitar el secado. De otra manera se puede obtener una porción cortando axialmente por el centro del espécimen compactado y removiendo 500 gramos del material de los lados cortados. Obtener el contenido de humedad de acuerdo al método del Ensayo para determinar el contenido de humedad de un suelo.

- Después de la compactación del último espécimen, comparar los pesos unitarios húmedos para asegurar que el patrón deseado de obtención de datos en cada lado del óptimo contenido de humedad sea alcanzado en la curva de compactación para cada Peso Unitario Seco y plotear el Peso Unitario Húmedo y Contenido de Agua de cada espécimen compactado puede ser de ayuda para realizar esta evaluación. Si el patrón deseado no es obtenido, serán necesarios compactar especímenes adicionales. Generalmente, un valor de contenido de agua mayor que el contenido de agua definido por el Peso Unitario Húmedo es suficiente para asegurar los datos del lado más húmedo que el óptimo contenido de agua para el máximo Peso Unitario Seco.

h) Cálculos

- Calcule el Peso Unitario Seco y Contenido de Agua para cada espécimen compactado como se explica en los siguientes pasos, plotee los valores y dibuje la curva de compactación como una curva suave a través de los puntos. Plotee el Peso Unitario Seco con aproximación de 0.1 libra/pie³ y contenido de agua aproximando a 0.1%. en base a la curva de compactación, determine el Óptimo Contenido de Agua y el Peso Unitario Seco Máximo. Si más de 5% en peso del material sobredimensionado fue removido de la muestra, calcular el máximo Peso Específico y óptimo contenido de Humedad corregido del material total usando la Norma ASTM D4718 (“Método de ensayo para la corrección del Peso Unitario y Contenido de Agua en suelos que contienen partículas sobredimensionadas”). Esta corrección debe realizarse en el

espécimen de ensayo de densidad de campo, más que al espécimen de ensayo de laboratorio.

- Plotear la curva de saturación al 100%. Los valores de contenido de agua para la condición de 100% de saturación pueden ser calculadas como se explica en los siguientes pasos.
- Contenido de Agua, W.- calcular de acuerdo al método de ensayo para determinar el contenido de humedad de un suelo.
- Peso Unitario Seco.- Calcular la densidad húmeda, la densidad seca y luego el Peso Unitario Seco con las siguientes ecuaciones:

$$Pm = \frac{(Mt - Mmd)}{1000 * V}$$

Dónde:

Pm: densidad Húmeda del Espécimen compactado (Mg/m3)

Mt: Masa del espécimen húmedo y molde (kg)

Mmd: Masa del molde de compactación (kg)

V: Volumen del molde de compactación (m3)

$$Pd = \frac{Pm}{1 + (w/100)}$$

Dónde:

Pd: Densidad seca del espécimen compactado (Mg/m3)

w: contenido de agua (%)

$$\gamma_d = 62.43 * P_d$$

$$\gamma_d = 9.807 * P_d$$

Dónde:

γ_d : peso unitario seco del espécimen compactado

- En el cálculo de los puntos para el ploteo de la curva de 100% de saturación o curva de relación de vacíos cero del peso unitario seco, seleccione los valores correspondientes de contenido de agua a la condición de 100% de saturación como sigue:

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

Dónde:

W_{sat} : Contenido de agua para una saturación completa (%)

γ_w : Peso Unitario del agua 62.43 libra/pie³

γ_d : Peso Unitario seco del suelo

G_s : Gravedad específica del suelo

2.6.8. ENSAYO DE CBR (CALIFORNIA BEATING RATIO)

a) Objetivo

- Describe el procedimiento de ensayo para la determinación de un índice de resistencia de los suelos denominado valor de la relación de soporte, que es muy conocido, como CBR (California Bearing Ratio). El ensayo se realiza normalmente sobre suelo preparado en el laboratorio en condiciones determinadas de humedad y densidad; pero también puede

operarse en forma análoga sobre muestras inalteradas tomadas del terreno.

- Este índice se utiliza para evaluar la capacidad de soporte de los suelos de subrasante y de las capas de base, subbase y de afirmado.
- Este modo operativo hace referencia a los ensayos para determinación de las relaciones de Peso Unitario – Humedad, usando un equipo modificado.

b) Aparatos y Materiales

- Prensa similar a las usadas en ensayos de compresión, utilizada para forzar la penetración de un pistón en el espécimen. El pistón se aloja en el cabezal y sus características deben ajustarse a las especificadas en los siguientes párrafos. El desplazamiento entre la base y el cabezal se debe poder regular a una velocidad uniforme en 1.27 mm por minuto. La capacidad de la prensa y su sistema para la medida de carga debe ser de 44.5 kN o más y la precisión mínima en la medida debe ser de 44 N o menos.
- Molde, de metal, cilíndrico, de 152.4 +- 0.66 mm de diámetro interior y de 177.8 +-0.46 mm de altura, provisto de un collar de metal suplementario de 50.8 mm de altura y una placa de base perforada de 9.53 mm de espesor. Las perforaciones de la base no excederán de 1.6 mm las mismas que deberán estar uniformemente espaciadas en la circunferencia interior del molde de diámetro. La base se deberá poder ajustar a cualquier extremo del molde.

- Disco espaciador, de metal, de forma circular, de 150.8 mm de diámetro exterior y de 61.37 +- 0.127 mm de espesor, para insertarlo como falso fondo en el molde cilíndrico durante la compactación.
- Pisón de compactación como el descrito en el modo operativo de ensayo Proctor Modificado.
- Aparato medidor de expansión compuesto por:
 - Una placa de metal perforada, por cada molde, de 149.2 mm de diámetro, cuyas perforaciones no excedan de 1.6 mm de diámetro. Estará provista de un vástago en el centro con un sistema de tornillo que permita regular su altura.
 - Un trípode cuyas patas puedan apoyarse en el borde del molde, que lleve montado y bien sujeto en el centro un dial, cuyo vástago coincida con el de la placa, de forma que permita controlar la posición de este y medir la expansión, con aproximación de 0.025 mm.
- Pesas. Uno o dos pesas anulares de metal que tengan una masa total de 4.54 +- 0.02 kg y pesas ranuradas de metal cada una con masas de 2.27 +- 0.02 kg. Las pesas anular y ranurada deberán tener 5 7/8” a 5 15/16” (149.23 mm a 150.81 mm) en diámetro; además de tener la pesa, anular un agujero central de 2 1/8” aproximado (53.98 mm) de diámetro.

- Pistón de penetración, metálico de sección transversal circular, de 49.63 +- 0.13 mm (1.954 +- 0.005”) de diámetro, área de 19.35 cm² (3pulg²) y con una longitud necesaria para realizar el ensayo de penetración con las sobrecargas precisas, pero nunca menor de 101.6 mm.
- Dos diales con recorrido mínimo de 25 mm y divisiones lecturas en 0.025 mm, uno de ellos provisto de una pieza que permita su acoplamiento en la prensa para medir la penetración del pistón en la muestra.
- Tanque, con capacidad suficiente para la inmersión de los moldes de agua.
- Estufa, termostáticamente controlada, capaz de mantener una temperatura de 110 +- 5°C (230 +- 9°F).
- Balanzas, una de 20 kg de capacidad y otra de 1000 gramos con sensibilidades de 1 gramo o 0.1 gramo respectivamente.
- Tamices, de 4.76 mm (N°4), 19.05 mm (3/4”) y 50.80 mm (2”).
- Misceláneos, de uso general como cuarteador, mezclador, capsulas, probetas, espátulas, discos de papel filtro del diámetro del molde, etc.

c) Procedimiento

El procedimiento es tal que los valores de la relación de soporte se obtienen a partir de especímenes de ensayo que posean el mismo peso unitario y contenido de agua que se espera encontrar en el

terreno. En general, la condición de humedad crítica (más desfavorable) se tiene cuando el material está saturado. Por esta razón, el método original del cuerpo de Ingenieros de E.U.A. contempla el ensayo de los especímenes después de estar sumergidos en agua por un periodo de cuatro días confinados en el molde con una sobrecarga igual al peso del pavimento que actuara sobre el material

- Preparación de Muestra.- se procede como se indica en las normas mencionadas (Relaciones de peso unitario-humedad en los suelos, con equipo estándar o modificado). Cuando más del 75% en peso de la muestra pase por el tamiz de 19.1 mm (3/4”), se utiliza para el ensayo el material que pasa por dicho tamiz. Cuando la fracción de la muestra retenida en el tamiz de 19.1 mm (3/4”) sea superior a un 25% en peso, se separa el material retenido en dicho tamiz y se sustituye por una proporción igual de material comprendido entre los tamices de 19.1mm (3/4”) y de 4.75 mm (N°4), obtenida tamizando otra porción de la muestra. De la muestra así preparada se toma la cantidad necesaria para el ensayo de apisonado, más unos 5 kg por cada molde CBR.

Se determina la humedad óptima y la densidad máxima por medio del ensayo de compactación elegido. Se compacta un número suficiente de especímenes con variación en su contenido de agua, con el fin de establecer definitivamente la humedad óptima y el peso unitario máximo. Dichos especímenes se preparan con diferentes energías de compactación. Normalmente, se usan la energía de Proctor Estándar, la del Proctor Modificado y una Energía Inferior al

Proctor Estándar. De esta forma, se puede estudiar la del Proctor Modificado y una energía Inferior al Proctor Estándar. De esta forma, se puede estudiar la variación de la relación de soporte con estos dos factores que son los que afectan principalmente. Los resultados se grafican en un diagrama de contenido de agua contra peso unitario.

Se determina la humedad natural del suelo mediante secado en estufa, según la norma MTC E 108. Conocida la humedad natural del suelo, se le añade la cantidad de agua que le falte para alcanzar la humedad fijada para el ensayo, generalmente la óptima determinada según el ensayo de compactación elegido y se mezcla íntimamente con la muestra.

- Elaboración de especímenes. Se pesa el molde con su base, se coloca el collar y el disco espaciador y, sobre este, un disco de papel de filtro grueso del mismo diámetro.

Una vez preparado el molde, se compacta el espécimen en su interior, aplicando un sistema dinámico de compactación (ensayos mencionados, ídem Proctor Estándar o Modificado), pero utilizando en cada molde la proporción de agua y la energía (número de capas y de golpes en cada capa) necesarias para que el suelo quede con la humedad y densidad deseadas. Es frecuente utilizar tres o nueve moldes por cada muestra, según la clase de suelo granular cohesivo, con grados diferentes de compactación. Para suelos granulares, la prueba se efectúa dando 55, 26 y 12 golpes por capa y con contenido de agua correspondiente a la óptima. Para suelos cohesivos interesa mostrar su comportamiento sobre un intervalo amplio

de humedades. Las curvas se desarrollan para 55, 26 y 12 golpes por capa, con diferentes humedades, con el fin de obtener una familia de curvas que muestran la relación entre el peso específico, humedad y relación de capacidad de soporte.

Si el espécimen se va a sumergir, se toma una porción de material, entre 100 y 500 gramos (según sea fino o tenga grava) antes de la compactación y otra al final, se mezclan y se determina la humedad del suelo de acuerdo con la norma MTC E 108. Si la muestra no va a ser sumergida, la porción de material para determinar la humedad se toma del centro de la probeta resultante de compactar el suelo en el molde, después del ensayo de penetración. Para ello el espécimen se saca del molde y se rompe por la mitad.

Terminada la compactación, se quita el collar y se enrasa el espécimen por medio de un enrasador o cuchillo de hoja resistente y bien recta. Cualquier depresión producida al eliminar partículas gruesas durante el enrase, se rellenara con material sobrante sin gruesas, comprimiéndolo con la espátula. Se desmonta el molde y se vuelve a montar invertido, sin disco espaciador, colocando un papel filtro entre el molde y la base. Se pesa.

- Inmersión. Se coloca sobre la superficie de la muestra invertida la placa perforada con vástago, y, sobre esta, los anillos necesarios para completar una sobrecarga tal, que produzca una presión equivalente a la originada por todas las capas de materiales que haya de ir encima del suelo que se ensaya, la aproximación quedara dentro de los 2.27 kg correspondientes

a una pesa. En ningún caso, la sobrecarga total será menor de 4.54 kg.

Se toma la primera lectura para medir el hinchamiento colocando el trípode de medida con sus patas sobre los bordes del molde, haciendo coincidir el vástago del dial con el de la placa perforada. Se anota su lectura, el día y la hora. A continuación, se sumerge el molde en el tanque con la sobrecarga colocada dejando libre acceso al agua por la parte inferior y superior de la muestra. Se mantiene la probeta en estas condiciones durante 96 horas “no el nivel de agua aproximadamente constante. Es admisible también un periodo de inmersión más corto si se trata de suelos granulares que se saturan de agua rápidamente y si los ensayos muestran que esto no afecta los resultados.

Al final del periodo de inmersión, se vuelve a leer el deformímetro para medir el hinchamiento. Si es posible, se deja el trípode en su posición, sin moverlo durante todo el periodo de inmersión; no obstante, si fuera preciso, después de la primera lectura puede retirarse, marcando la posición de las patas en el borde del molde para poderla repetir en lecturas sucesivas. La expansión se calcula como un porcentaje de la altura del espécimen.

Después del periodo de inmersión se saca el molde del tanque y se vierte el agua retenida en la parte superior del mismo, sosteniendo firmemente la placa y sobrecarga en su posición. Se deja escurrir el molde durante 15 minutos en su posición normal y a continuación se retira la sobrecarga y la placa

perforada. Inmediatamente se pesa y se procede al ensayo de penetración según el proceso del numeral siguiente.

Es importante que no transcurra más tiempo que el indispensable desde cuando se retira la sobrecarga hasta cuando se vuelve a colocarse para el ensayo de penetración.

- Penetración. Se aplica una sobrecarga que sea suficiente, para producir una intensidad de carga igual al peso del pavimento (con ± 2.27 kg de aproximación) pero no menor de 4.54 kg (10 libras). Para evitar el empuje hacia arriba del suelo dentro del agujero de las pesas de sobrecarga, es conveniente asentar el pistón luego de poner la primera sobrecarga sobre la muestra, llévese el conjunto a la prensa y colóquese en el orificio central de la sobrecarga anular, el pistón de penetración y añada el resto de la sobrecarga si hubo inmersión, hasta completar la que se utilizó en ella. Se monta el dial medidor de manera que se pueda medir la penetración del pistón y se aplica una carga de 50 N (5 kg) para que el pistón asiente. Seguidamente se sitúan en cero las agujas de los diales medidores, el del anillo dinámico, u otro dispositivo para medir la carga, y el de control de penetración. Para evitar que la lectura de penetración se vea afectada por la lectura del anillo de carga, el control de penetración deberá apoyarse entre el pistón y la muestra o molde.

Se aplica la carga sobre el pistón de penetración mediante el gato o mecanismo correspondiente de la prensa, con una velocidad de penetración uniforme de 1.27 mm (0.05”) por minuto. Las prensas manuales no preparadas para trabajar a

esta velocidad de forma automática se controlaran mediante el deformímetro de penetración y un cronómetro. Se anotan las lecturas de la carga para las siguientes penetraciones:

Milímetros	Pulgadas
0.63	0.025
1.27	0.050
1.90	0.075
2.54	0.100
3.17	0.125
3.81	0.150
5.08	0.200
7.62	0.300
10.16	0.400
12.70	0.500

Tabla 2-15: Deformación producida por la penetración del pisón en milímetros y pulgadas

Finalmente, se desmonta el molde y se toma de su parte superior, en la zona próxima a donde se hizo la penetración, una muestra para determinar su humedad.

d) Cálculos

- **Humedad de compactación:** el tanto por ciento de agua que hay que añadir al suelo con su humedad para que alcance la humedad prefijada, se calcula como sigue:

$$\% \text{ de agua a añadir} = \frac{H - h}{100 + h} \times 100$$

Dónde:

H= Humedad prefijada

H= Humedad Natural

- Densidad o peso unitario. La densidad se calcula a partir del peso del suelo antes de sumergirlo y de su humedad, de la misma forma que en los métodos de ensayo citados. Proctor normal o modificado, para obtener la densidad máxima y la humedad óptima.
- Agua absorbida. El cálculo para el agua absorbida puede efectuarse de dos maneras. Una, a partir de los datos de las humedades antes de la inmersión y después de esta; la diferencia entre ambas se toma normalmente como tanto por ciento de agua absorbida. Otra, utilizando la humedad de la muestra total contenida en el molde. Se calcula a partir del peso seco de la muestra (calculado) y el peso húmedo antes y después de la inmersión.
- Ambos resultados coincidirán o no, según que la naturaleza del suelo permita la absorción uniforme del agua (suelos granulares), o no (suelos plásticos). En este segundo caso debe calcularse el agua absorbida por los dos procedimientos.
- Presión de penetración. Se calcula la presión aplicada por el penetrometro y se dibuja la curva para obtener las presiones reales de penetración a partir de los datos de prueba; el punto cero de la curva se ajusta para corregir las irregularidades de la superficie, que afectan la forma inicial de la curva.

- Expansión. La expansión se calcula por la diferencia entre las lecturas de deformamiento antes y después de la inmersión. Este valor se refiere en tanto por ciento con respecto a la altura de la muestra en el molde. Que es de 127 mm.
- El valor de la relación de soporte (índice resistente CBR). Se llama valor de la relación de soporte (índice CBR), al tanto por ciento de la presión ejercida por el pistón sobre el suelo, para una penetración determinada, en relación con la presión correspondiente a la misma penetración en una muestra patrón. Las características de la muestra patrón son las siguientes:

Penetración		Presión		
mm	pulgadas	MN/m ²	Kgf/cm ²	Lb/pulg ²
2.54	0.1	6.90	70.31	1.000
5.08	0.2	10.35	105.46	1.500

Tabla 2-16: Presión estándar o patrón, producida por el pistón en referencia a la deformación alcanzada.

Para calcular el índice CBR se procede como sigue:

- Se dibuja una curva que relacione las presiones (ordenadas) y las penetraciones (abscisas), y se observa si esta curva presenta un punto de inflexión. Si no presenta punto de inflexión se toman los valores correspondientes a 2.54 y 5.08 mm (0.1” y 0.2”) de penetración. Si la curva presenta un punto de inflexión, la tangente en ese punto cortara el eje de abscisas en otro punto (o corregido), que se toma como nuevo origen

para la determinación de las presiones correspondientes a 2.54 y 5.08mm.

- De la curva corregida tómense los valores de esfuerzo-penetración para los valores de 2.54 mm y 5.08 mm y calcúlense los valores de relación de soporte correspondientes, dividiendo los esfuerzos corregidos por los esfuerzos de referencia 6.9 MPa (1000 lb/pulg²) y 10.3 MPa (1500 lb/pulg²) respectivamente, y multiplíquese por 100. La relación de soporte reportada para el suelo es normalmente la de 2.54 mm (0.1”) de penetración. Cuando la relación a 5.08 mm (0.2”) de penetración resulta ser mayor, se repite el ensayo. Si el ensayo de comprobación da un resultado similar, úsese la relación de soporte para 5.08 mm (0.2”) de penetración.

2.6.9. ENSAYO DE ABRASION LOS ANGELES AL DESGASTE DE LOS AGREGADOS DE TAMAÑOS MENORES

a) Objetivo

- Se refiere al procedimiento que se debe seguir para realizar el ensayo de desgaste de los agregados gruesos hasta de 37.5 mm (1 ½”) por medio de la máquina de Los Ángeles.
- El método se emplea para determinar la resistencia al desgaste de agregados naturales o triturados, empleando la citada maquina con una carga abrasiva.

b) Aparatos y Materiales

- Balanza, que permita la determinación del peso con aproximación de 1 gramo.
- Estufa, que pueda mantener una temperatura uniforme de 100 +- 5°C
- Tamices
- Máquina de Los Ángeles: la máquina para el ensayo de desgaste de Los Ángeles tendrá las características que se indican en la figura 1. Consiste en un cilindro hueco, de acero, con una longitud interior de 508 +- 5 mm y un diámetro, también interior de 711 +- 5 mm.

Dicho cilindro lleva sus extremos cerrados y en el centro de cada extremo un eje, que no penetra en su interior, quedando el cilindro montado de modo que pueda girar en posición horizontal alrededor de este eje. El cilindro estará provisto de una abertura, para introducir la muestra que se desea ensayar, y un entrepaño, para conseguir la rotación de la mezcla y de la carga abrasiva. La abertura podrá cerrarse por medio de una tapa con empaquetadura que impida la salida del polvo, fijada por medio de pernos.

La tapa se diseñara de manera tal que se mantenga el contorno cilíndrico interior. El entrepaño se coloca de modo que la carga no caiga sobre la tapa durante el ensayo, ni se ponga en contacto con ella en ningún momento. El entrepaño será desmontable, de acero, ocupando longitudinalmente toda una generatriz del cilindro y se proyectara radialmente, y hacia el centro de la sección circular del cilindro, en longitud de 89 +- 2 mm. Tendrá un espesor tal que permita montarlo por medio de

pernos y otro medio apropiado, de forma que quede instalado de un modo firme y rígido. La distancia del entrepaño a la abertura, medida a lo largo de la circunferencia del cilindro y en el sentido de la rotación, será mayor a 1.27 m (50”).

La superficie del entrepaño de la máquina de Los Ángeles está sometida a un fuerte desgaste y al impacto de las bolas, originándose en ella un relieve a una distancia aproximadamente de 32 mm (1 ¼”) desde la unión del entrepaño con la superficie interior del cilindro. Si el entrepaño esta echo de una sección angular, no solamente puede formarse este relieve, sino que aquel se puede llegar a doblar longitudinal o transversalmente y con respecto a su correcta disposición, por lo cual debe ser revisado periódicamente. Si se observa alguno de estos defectos, el entrepaño debe ser reparado o reemplazado antes de realizar nuevos ensayos. La influencia de todos estos factores sobre los resultados del ensayo no es conocida; sin embargo, para uniformar las condiciones de ensayo se recomienda eliminar el relieve formado cuando su altura sea superior a 2 mm (0.1”).

La máquina será accionada y contrabalaceada en forma tal, que debe mantener la velocidad periférica bastante uniforme.

La pérdida de velocidad y el deslizamiento del mecanismo de transmisión son causa frecuente de que los resultados del ensayo no coincidan con los obtenidos en otra máquina de desgaste de Los Ángeles con velocidad periférica constante.

- Carga abrasiva. La carga abrasiva consistirá en esferas de acero o de fundición, de un diámetro entre 46.38 mm (1 13/16”) y 47.63 mm (1 7/8”) y un peso comprendido entre 390 gramos y 445 gramos.

La carga abrasiva dependerá de la granulometría de ensayo, A, B, C o D, según se indica en la siguiente tabla:

Granulometría de ensayo	Numero de esferas	Peso Total g
A	12	5000 +- 25
B	11	4584 +- 25
C	8	3330 +- 20
D	6	2500 +- 15

c) Preparación de la Muestra

- La muestra consistirá en agregado limpio por lavado y secado en horno a una temperatura constante comprendidas entre 105 y 110°C (221 a 230°F), separada por fracciones de cada tamaño y recombinadas con una de las granulometrías indicadas en la tabla mostrada luego del presente párrafo. La granulometría o granulometrías elegidas serán representativas del agregado tal y como va a ser utilizado en la obra. La muestra antes de ensayada deberá ser pesada con aproximación de 1 gramo.

Pasa Tamiz		Retenido en tamiz		Pesos y Granulometrías de la muestra para ensayo (gramos)			
mm	Alt	mm	Alt	A	B	C	D
37.5	(1 1/2")	-25.0	(1")	1250 +- 25			
25.0	(1")	-19.0	(3/4")	1250 +- 25			

19.0	(3/4")	-12.5	(1/2")	1250 +- 10	2500 +- 10		
12.5	(1/2")	-9.5	(3/8")	1250 +- 10	2500 +- 10		
9.5	(3/8")	-6.3	(1/4")			2500 +- 10	
6.3	(1 1/4")	-4.75	(N°4)			2500 +- 10	
4.75	(N°4)	-2.38	(N°8)				5000 +- 10
Totales				5000 +- 10	2500 +- 10	5000 +- 10	5000 +- 10

- Cuando se triture la muestra en el laboratorio, se hará constar esto en el informe, debido a la influencia que tiene la forma de las partículas en el resultado del ensayo.

d) Procedimiento

- Ejecución del ensayo.- la muestra y la carga abrasiva correspondiente, se colocan en la máquina de Los Ángeles, y se hace girar el cilindro a una velocidad comprendida entre 30 y 33 rpm; el número total de vueltas deberá ser 500. La máquina deberá girar de manera uniforme para mantener una velocidad periférica prácticamente constante. Una vez cumplido el número de vueltas prescrito, se descarga el material del cilindro y se procede con una separación preliminar de la muestra ensayada, en el tamiz #12. La fracción fina que pasa, se tamiza a continuación empleando el tamiz de 1.70 mm (N°12). El material más grueso que el tamiz de 1.70 mm (N°12) se lava, se seca en el horno, a una temperatura comprendida

entre 105 a 110°C (221 a 230°F), hasta peso constante, y se pesa con precisión de 1 gramo.

- Cuando el agregado esté libre de costras o de polvo, puede eliminarse la exigencia de lavarlo antes y después del ensayo. La eliminación del lavado posterior, rara vez reducirá la pérdida de medida, en más del 0.2% del peso de la muestra original.

e) Resultados

- El resultado del ensayo es la diferencia entre el peso original y el peso final de la muestra ensayada, expresado como tanto por ciento del peso original.
- El resultado del ensayo (% del desgaste) recibe el nombre de coeficiente de desgaste de Los Ángeles. Calcúlese el valor como sigue:

$$\%Desgaste = 100(P1 - P2)/P1$$

Dónde:

P1 = Peso muestra seca antes del ensayo

P2 = Peso muestra seca después del ensayo, previo lavado sobre el tamiz de 1.70 mm (N°12)

f) Precisión

- Agregados con tamaño máximo nominal de 19 mm (3/4”), con porcentajes de pérdida entre 10 y 45%, el coeficiente de variación entre resultados de varios laboratorios, es del 4.5%. entonces, resultados de dos ensayos bien ejecutados, por dos laboratorios diferentes, sobre muestras del mismo agregado

grueso, no deberán diferir el uno del otro en más del 12.7% de su promedio.

El coeficiente de variación de operadores individuales, se encontró que es del 2%. Entonces, los resultados de dos ensayos viene ejecutados sobre el mismo agregado grueso, no deberán diferir, el uno del otro más del 5.7% de su promedio.

CAPITULO III

3. DESCRIPCION DEL PROYECTO

3.1. ANTECEDENTES

Los antecedentes para el siguiente proyecto se basan en la utilización de polímeros para la estabilización y/o función de superficie de rodadura para caminos.

Como se mencionó en el capítulo anterior, la utilización de polímeros en caminos pavimentados y no pavimentados, surge de la necesidad de mejorar o crear una superficie que posea las funciones de camino y a la vez la de mejorar las condiciones del mismo, ya sea por deficiencia del terreno o por las mismas condiciones o características de la zona de aplicación.

3.2. UBICACIÓN

El lugar elegido para el proyecto es la Avenida Las Torres, en el distrito de Yura, Provincia y Región de Arequipa.

Se decidió elegir este lugar, ya que es una vía proyectada a ser de vital importancia en el Distrito, la causal de que no sea así es lo accidentado de la topografía del lugar y que no cuenta con una superficie de rodadura firme, ya que actualmente es un camino no pavimentado, pero de ser tomado en cuenta, podría descargar el tráfico de la Panamericana, la cual es una vía importante que sirve de comunicación entre el centro de la Ciudad y zonas como Yura Viejo e incluso otros distritos alejados a la ciudad. A continuación se muestra en la siguiente figura la ubicación exacta del proyecto de investigación.

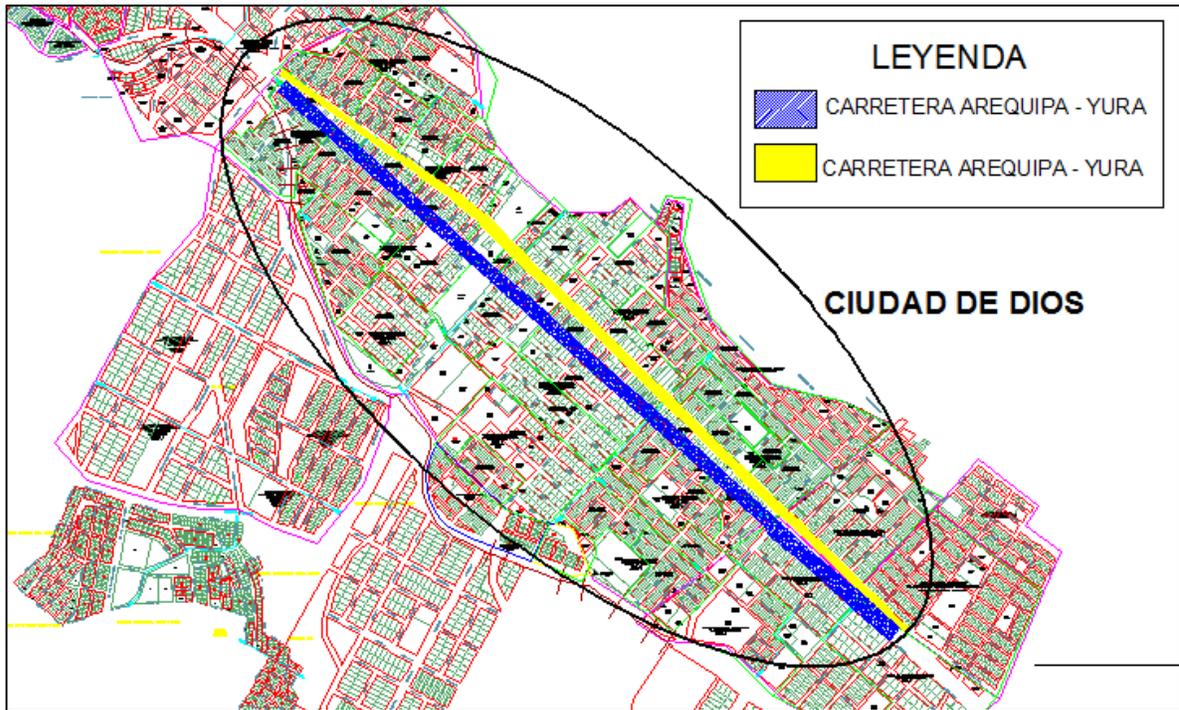


Figura 3-1: Ubicación del proyecto de investigación



Figura 3-2: Vista Satelital del proyecto de investigación

3.3. CARACTERÍSTICAS DE LA ZONA

Para expresar las características de la zona de manera correcta e íntegra, se debe mencionar que, para efectos de nuestro proyecto de investigación, estas se dividirán en dos zonas, primeramente las características de la Carretera Arequipa – Yura y las características de la existente Avenida Las Torres.

a) Carretera Arequipa – Yura

La carretera Arequipa – Yura, siendo parte de la carretera Arequipa – Puno, es una vía de alto volumen de tránsito, siendo esta de aproximadamente 4.43 kilómetros y un ancho promedio de 7.50 metros, esta es una vía de un carril por cada sentido y con bermas de considerable ancho. Actualmente la Carretera Arequipa – Yura, viene siendo utilizada como una vía rápida y a su vez como una vía urbana, es decir, cumple ambas funciones, ya que como se detallara en el Estudio de Tráfico posterior, dicha vía es transitada por vehículos tanto de todo tipo, tales como: transporte de maquinaria, buses interprovinciales, vehículos particulares, transporte pesado, transporte público y transporte urbano, siendo así, es que dicha avenida se encuentra saturada por los siguientes motivos:

- La cantidad de vehículos que pasan por la zona.
- El número de carriles que cuenta dicha vía, ya que, solo posee un carril en ambos sentidos, siendo este detalle un impedimento para el adecuado flujo del tránsito.
- El variedad de vehículos que transitan por la zona, ya que, al ser diseñada como una vía de tránsito rápido, esta no es usada como tal, ya que, el transporte urbano y el transporte particular

en plena Asociación Urbanizadora, también transita por la zona, este mismo no es rápido de por sí, por la existencia de paraderos, tanto formales como informales.

- La combinación entre variedad de vehículos y el número de carriles, puntos señalados con anterioridad, los cuales, al combinarse, satura el tráfico a lo largo de toda la vía.

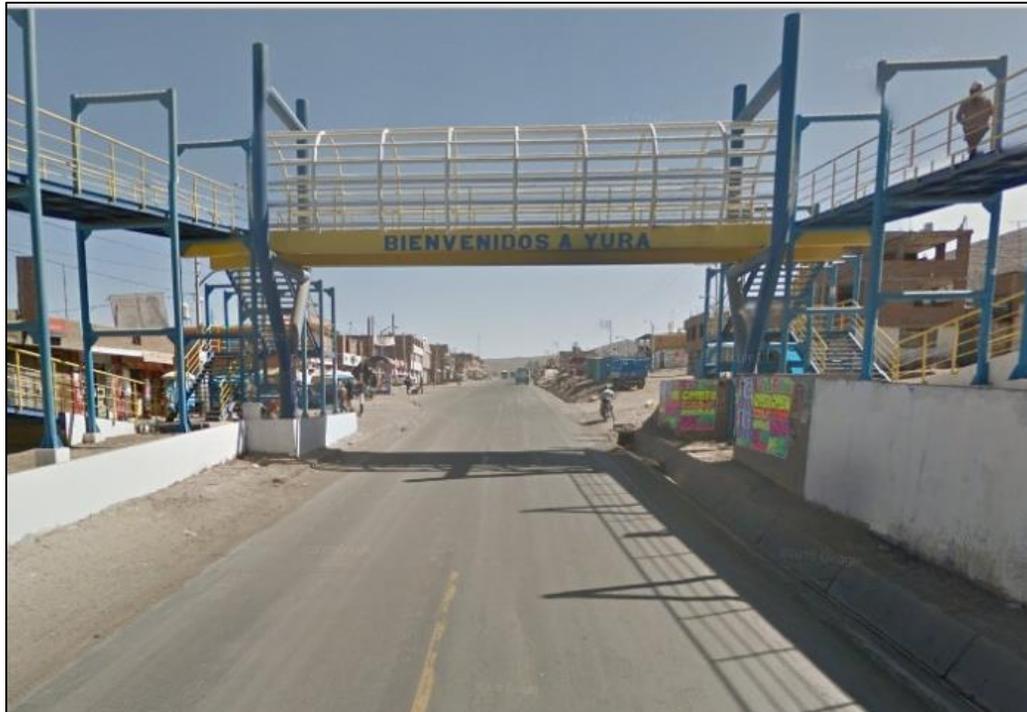


Figura 3-3: Carretera Arequipa – Yura (Tramo central)



Figura 3-4: Carretera Arequipa – Yura (Tramo Inicial)



Figura 3-5: Carretera Arequipa – Yura (Tramo Final)

b) Avenida Las Torres

La avenida Las Torres, es una carretera a nivel de afirmado, que atraviesa la zona de Ciudad de Dios en el Distrito de Yura, tiene una longitud de 4.43 kilómetros aproximadamente y un ancho promedio de 35 metros, así como también posee una servidumbre de 11 metros de ancho en el centro de dicha avenida, es así como se tiene un ancho para cada sentido de 12 metros; esta avenida puede ser utilizada tanto de uno como de dos carriles, factor aún sin determinar por el estado actual de la vía.

La zona actualmente tiene uso de camino para tráfico ligero y para un bajo volumen del mismo, ya que, como se mencionó con anterioridad, este camino no se encuentra del todo habilitado.

Así mismo, se encuentra con irregularidades en su superficie, hundimiento, grietas y deslizamientos de tierras ocasionadas por la temporada de lluvias y por la falta de cuidado en la zona.

Como dato adicional, dicha avenida posee una característica especial, ya que, la misma posee servidumbre, tal y como se observa en la siguiente figura, la misma administrada por la empresa Yura S.A., dicha servidumbre declarada mediante Resolución Suprema N°157-97-EM, emitida por el Ministerio de Energía y Minas, la cual detalla que dicha servidumbre se extiende a lo largo de toda la Avenida y con un ancho de 11 metros, teniendo como eje central, el eje del electroducto para la línea de transmisión de 33 kV CH Charcani I – SE Yura, la cual atraviesa los Distritos de Cayma, Cerro Colorado y Yura.



Figura 3-6: Av. Las Torres (Tramo Inicial)



Figura 3-7: Av. Las Torres (Tramo Intermedio)



Figura 3-8: Letrero de Servidumbre en la Avenida



Al ser el tramo de estudio, se da a conocer a continuación, la longitud del tramo que comprende el presente estudio, en forma de progresivas, las cuales se tomaran, tanto para la recolección de muestras, ensayos

Figura 3-9: Av. Las Torres (Tramo Final)



y para el diseño de pavimentos.

Figura 3-10: Vista Satelital del Proyecto – Av. Las Torres

Así mismo se cuenta con una particularidad en la zona, la cual es la existencia de más de una torrentera, la cual atraviesa tanto la Carretera Arequipa – Yura como la Avenida Las Torres; cabe resaltar que a lo largo de dicha Carretera, estas han sido objeto de construcción de puentes, así mismo, en la Avenida Las Torres no es el caso, ya que, en muchos de los casos se han realizado movimientos de tierra (rellenos) sin tomar previamente en cuenta un estudio hidrológico para la construcción de obras de arte como badenes o puentes, motivo por el cual, la topografía de la Avenida, específicamente el perfil longitudinal de esta, no es regular, respecto a la Carretera Arequipa – Yura, es importante mencionar que no en todos los casos dejo de considerarse

la construcción de obras de arte, pero si en su mayoría, tal es el caso de la Torrentera ubicada aproximadamente a 280 metros de iniciada dicha Avenida; esta se extiende a lo largo de 90 metros en la misma, además que tiene una profundidad máxima de 10 metros. Este desnivel o torrentera será producto de un estudio detallado para determinar el tipo de acción a tomar, ya sea la construcción de un badén o un puente. Para efectos del presente proyecto de investigación, dicha torrentera no será tomada en cuenta, es decir, en esta zona la vía se considerara a un mismo nivel, ya que, dicho estudio seria reconocido en otro proyecto.

3.4. PROBLEMÁTICA DE LA ZONA

La zona del proyecto cuenta con múltiples problemas, los más significativos son:

3.4.1. CANTIDAD DE TRÁFICO

La cantidad del tráfico, en la zona no es realmente importante, en sí, este problema está referenciado a aspectos sociales, ya que, siendo esta avenida de amplio espacio, abastecería el tráfico sin ningún problema.

Guiándonos al aspecto social, la paralela a esta avenida es un rato de amplio tráfico, y al contar con tan solo un carril, en ambos sentidos, esta vía recibe a diario un tráfico significativo, el cual podría ser derivado y descongestionado de contar con una avenida alterna, es ahí donde entra a tallar la avenida que estamos estudiando.

3.4.2. ESTADO DE LA VÍA

El estado de la vía, como se mencionó con anterioridad, es actualmente muy malo, ya que, al estar en condición de vía no pavimentada, cuenta con irregularidades, zonas que no están totalmente compactadas y

hundimientos producto del paso del tiempo y una posible mala construcción de la misma.

3.4.3. TOPOGRAFÍA Y CLIMA

La topografía de la avenida, como se mencionó con anterioridad, es un aspecto que deja mucho que desear, cuenta con muchos cambios de nivel, algunos propios de la zona, otros que pueden evitarse, pero este será efecto de otro estudio; en cuanto al clima, al ubicarse fuera de la ciudad y cerca de los cerros, el factor que más importa en referencia al estado de la vía, es la lluvia, la cual aparece esporádicamente cuando no es temporada, pero especialmente, en temporada de lluvias, esta zona de Arequipa es azotada diariamente por fuertes precipitaciones, independientemente de lo que pase en la ciudad, debido a esto, la zona, que aún es una vía no pavimentada, por lo que esto agrava y produce grietas, deslizamientos, hundimientos y colapso de partes de la vía.

CAPITULO IV

4. ANALISIS DEL PROYECTO

4.1. INGENIERÍA DEL PROYECTO

4.1.1. RECOLECCIÓN DE MUESTRAS DE SUELO

Para la recolección de las muestras de suelo se determinó el número de calicatas o sondeos a realizar a lo largo de la vía, para tal efecto se tomaron los siguientes criterios:

- a) Tal y como dice la parte Teórica de la recolección de muestras, en las Carreteras de Bajo Volumen de Transito y carreteras con un IMDA \leq 200 veh/día, las calicatas se realizaran 1 cada Kilómetro.
- b) Se puede tomar el criterio de analizar la Carta Geológica de la zona y viendo que en la zona del proyecto se tiene un solo tipo de suelo, se tome el criterio visto en el punto “a”, ya que, de existir diferentes tipos de suelo, se tomaría calicatas en cada cambio del mapa geológico.

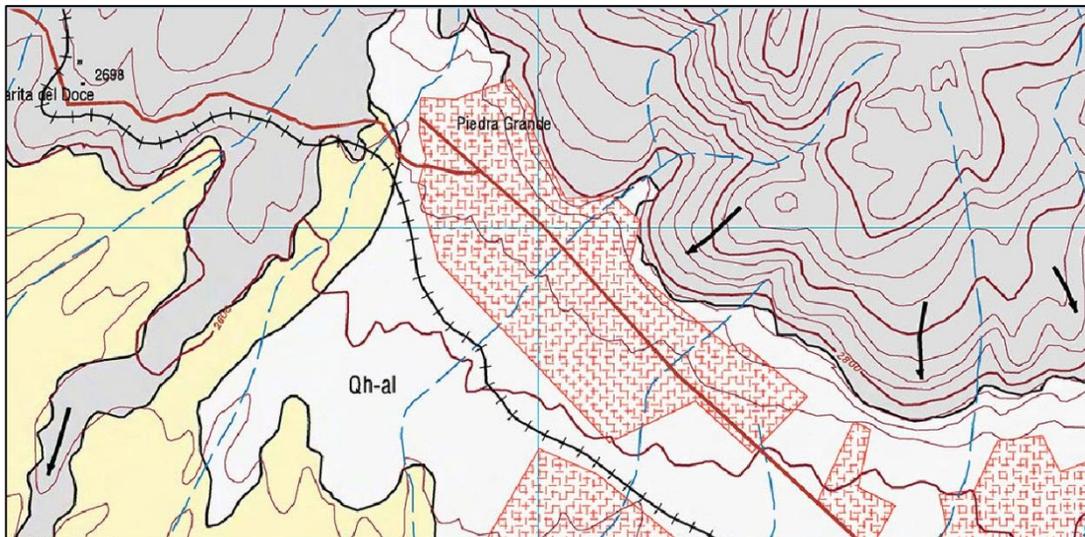


Figura 4-1: Toma de Carta Geológica 33-s 3era

Por lo antes expuesto, se tomaran 4 calicatas en todo el tramo de estudio del proyecto, de manera alternada, ya que la longitud total de la Av. Las Torres es de 4,455.00 metros aproximadamente, siendo así se rotularan las calicatas de la siguiente manera:

- Calicata “C1”: Av. Las Torres, margen derecho, Progresiva 0+400 m.



Figura 4-2: Foto de Calicata C-01 con su respectivo letrero



Figura 4-4: Foto Panorámica de la Calicata C-01

Calicata “C2”: Av. Las Torres, margen derecho, Progresiva 1+250 m.



Figura 4-3: Foto de Calicata C-02 con su respectivo letrero



Figura 4-6: Foto Panorámica de la Calicata C-02

Calicata “C3”: Av. Las Torres, margen derecho, Progresiva 2+100 m.



Figura 4-5: Foto de Calicata C-03 con su respectivo letrero



Figura 4-7: Foto Panorámica de la Calicata C-03

- Calicata “C4”: Av. Las Torres, margen derecho, Progresiva 2+950 m.



Figura 4-8: Foto de Calicata C-04 con su respectivo letrero



Figura 4-9: Foto Panorámica de la Calicata C-04

4.1.2. ESTUDIO DE TRÁFICO

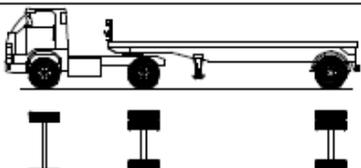
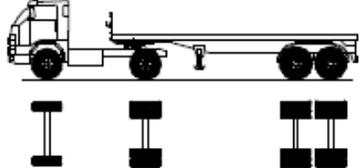
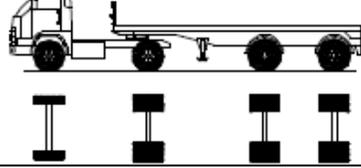
Según lo planteado en la metodología de este estudio, se tomarán los siguientes pasos para la determinación del ESAL de diseño, al ser de suma importancia para el diseño del pavimento.

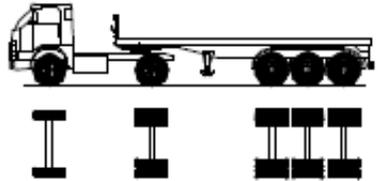
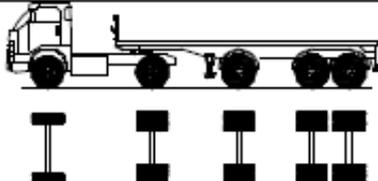
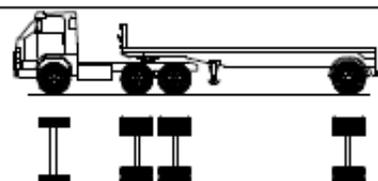
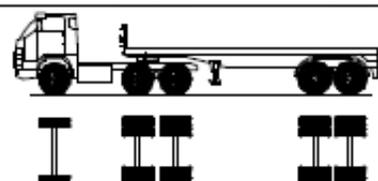
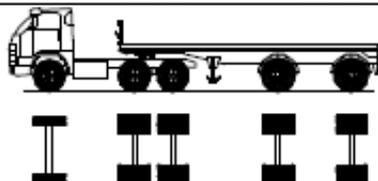
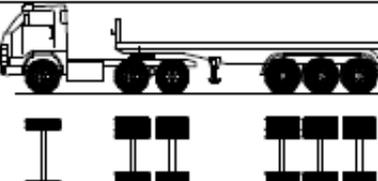
a) Conteo de Vehículos

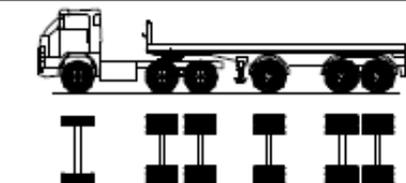
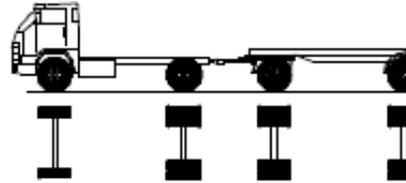
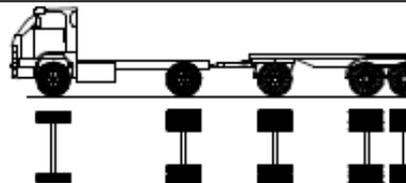
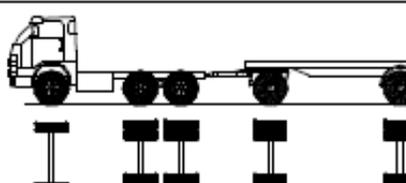
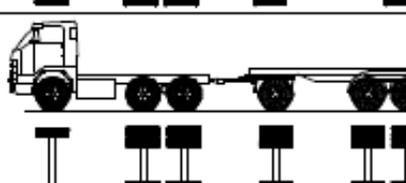
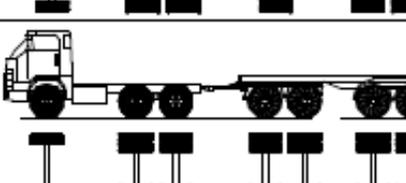
Para esta técnica de recolección, como se explicó en la teoría, se realizará un sondeo de la vía la cual es objeto de nuestro estudio, en este caso la Avenida Las Torres. Así mismo se tomarán en cuenta los criterios de Transito Atraído hacia la Avenida Las Torres de parte de la Carretera Arequipa – Yura.

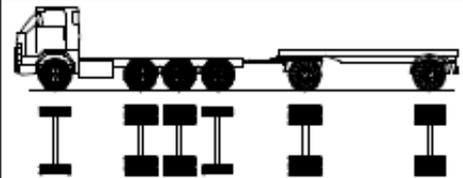
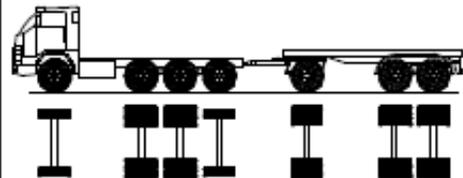
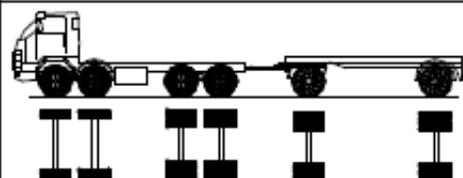
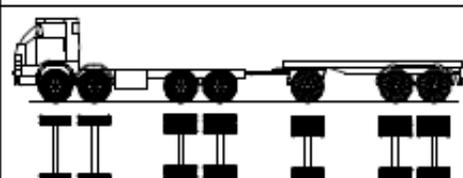
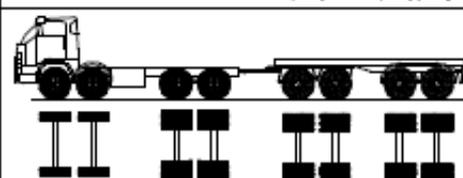
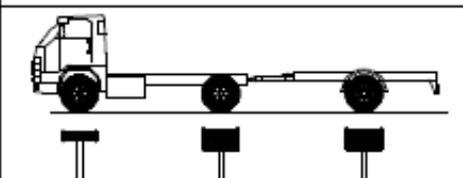
b) Determinación de Vehículos

Los tipos de vehículos y sus características están definidos en el reglamento de tránsito (MTC 2003). Los cuadros siguientes muestran la información requerida para el diseño. En algunos casos el diseño se efectúa con los pesos y características de los vehículos de acuerdo al conteo vehicular y el pesado de los mismos, en especial en tramos donde no se cuenta con control de pesos.

TABLA DE PESOS Y MEDIDAS									
Configuración vehicular	Descripción gráfica de los vehículos	Long. Máx. (m)	Peso máximo (t)				Peso bruto máx. (t)		
			Eje Delant	Conjunto de ejes posteriores					
				1°	2°	3°		4°	
C2		12,30	7	11	---	---	---	18	
C3		13,20	7	18	---	---	---	25	
C4		13,20	7	23 ⁽¹⁾	---	---	---	30	
8x4		13,20	7+7 ⁽⁵⁾	18	---	---	---	32	
T2S1		20,50	7	11	11	---	---	29	
T2S2		20,50	7	11	18	---	---	36	
T2Se2		20,50	7	11	11	11	---	40	

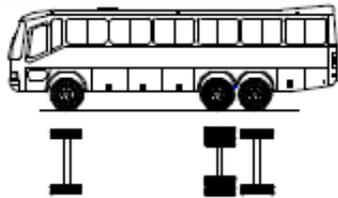
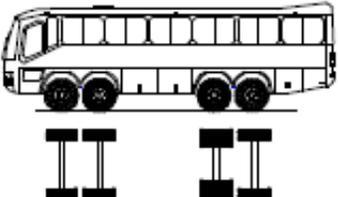
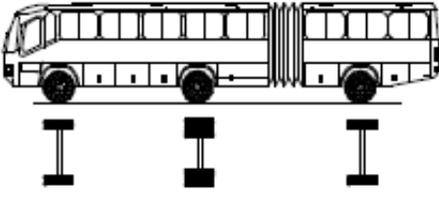
Configuración vehicular	Descripción gráfica de los vehículos	Long. Máx. (m)	Peso máximo (t)				Peso bruto máx. (t)	
			Eje Delant	Conjunto de ejes posteriores				
				1°	2°	3°		4°
T2S3		20,50	7	11	25	---	---	43
T2Se3		20,50	7	11	11 ⁽⁴⁾	18	---	47
T3S1		20,50	7	18	11	---	---	36
T3S2		20,50	7	18	18	---	---	43
T3Se2		20,50	7	18	11	11	---	47
T3S3		20,50	7	18	25	---	---	48 ⁽²⁾

Configuración vehicular	Descripción gráfica de los vehículos	Long. Máx. (m)	Peso máximo (t)				Peso bruto máx. (t)	
			Eje Delant	Conjunto de ejes posteriores				
				1°	2°	3°		4°
T3Se3		20,50	7	18	11 ⁽⁴⁾	18	---	48 ⁽²⁾
C2R2		23,00	7	11	11	11	---	40
C2R3		23,00	7	11	11	18	---	47
C3R2		23,00	7	18	11	11	---	47
C3R3		23,00	7	18	11	18	---	48 ⁽²⁾
C3R4		23,00	7	18	18	18	---	48 ⁽²⁾

Configuración vehicular	Descripción gráfica de los vehículos	Long. Máx. (m)	Peso máximo (t)				Peso bruto máx. (t)	
			Eje Delant	Conjunto de ejes posteriores				
				1°	2°	3°		4°
C4R2		23,00	7	23 ⁽¹⁾	11	11	---	48 ⁽²⁾
C4R3		23,00	7	23 ⁽¹⁾	11	18	---	48 ⁽²⁾
8x4R2		23,00	7+7 ⁽⁵⁾	18	11	11	---	48 ⁽²⁾
8x4R3		23,00	7+7 ⁽⁵⁾	18	11	18	---	48 ⁽²⁾
8x4R4		23,00	7+7 ⁽⁵⁾	18	18	18	---	48 ⁽²⁾
C2RB1		20,50	7	11	11	---	---	29

Configuración vehicular	Descripción gráfica de los vehículos	Long. Máx. (m)	Peso máximo (t)				Peso bruto máx. (t)	
			Eje Delant	Conjunto de ejes posteriores				
				1º	2º	3º		4º
C2RB2		20,50	7	11	18	---	---	36
C3RB1		20,50	7	18	11	---	---	36
C3RB2		20,50	7	18	18	---	---	43
C4RB1		20,50	7	23 ⁽¹⁾	11	---	---	41
C4RB2		20,50	7	23 ⁽¹⁾	18	---	---	48
8x4 RB1		20,50	7+7 ⁽⁵⁾	18	11	---	---	43

Configuración vehicular	Descripción gráfica de los vehículos	Long. Máx. (m)	Peso máximo (t)				Peso bruto máx. (t)	
			Eje Delant	Conjunto de ejes posteriores				
				1°	2°	3°		4°
8x4 RB2		20,50	7+7 ⁽⁵⁾	18	18	---	---	48 ⁽²⁾
T3S2 S2		23,00	7	18	18	18	---	48 ⁽²⁾
T3Se2 Se2		23,00	7	18	11 + 11 ⁽³⁾	11 + 11 ⁽³⁾	---	48 ⁽²⁾
T3S2 S1S2		23,00	7	18	18	11	18	48 ⁽²⁾
T3Se2 S1Se2		23,00	7	18	11 + 11 ⁽³⁾	11	11 + 11 ⁽³⁾	48 ⁽²⁾
B2		13,20	7	11	---	---	---	18

Configuración vehicular	Descripción gráfica de los vehículos	Long. Máx. (m)	Eje Delant	Peso máximo (t)				Peso bruto máx. (t)
				Conjunto de ejes posteriores				
				1º	2º	3º	4º	
B3-1		14,00	7	16	---	---	---	23
B4-1		15,00	7+7 ⁽⁵⁾	16	---	---	---	30
BA-1		18,30	7	11	7	---	---	25

- (1) Conjunto de ejes con un eje direccional
- (2) Vehículos con facilidad de distribución de peso por ejes
- (3) Conjunto de ejes separados compuesto por dos ejes simples donde la distancia entre centros de ruedas es superior a 2,40 m
- (4) Eje direccional
- (5) Carga máxima para conjunto de ejes direccionales compuestos por dos ejes simples donde la distancia entre centros de ruedas es superior a 1,70 m

c) Plantilla de Conteo

Para el conteo de vehículos, se utilizó una plantilla inicial (borrador) y una plantilla final, esta plantilla se realizó tanto para la Carretera Arequipa – Yura, como para la Avenida Las Torres, es decir, serán dos plantillas de conteo de vehículos.

d) Encuestas a Vehículos que transitan por la Carretera Arequipa – Yura

Este paso se tomó en consideración, ya que, el tráfico existente en la Av. Las Torres, es mínimo, debido principalmente al estado actual de la vía, para tal efecto, la siguiente encuesta se realizó a los vehículos que transitan por la Carretera Arequipa – Yura, con la finalidad de determinar el tránsito atraído de la Carretera Arequipa – Yura hacia la Av. Las Torres.

La encuesta contenía las siguientes preguntas:

1. *¿Cuál es su punto de partida en el viaje?*
2. *¿Cuál es su punto de llegada en el viaje?*
3. *¿En cuánto tiempo espera llegar a su destino?*
4. *¿Realiza este viaje a diario?*
5. *¿Cuál es el principal problema de la carretera Arequipa – Yura?*
6. *¿Por qué motivo usa usted esta vía?*
7. *¿Tomaría la Avenida Las Torres en su estado actual?*
8. *¿Tomaría la Avenida Las Torres en un estado mejorado (no necesariamente asfaltada)?*

A lo cual, los resultados de las mismas se representaran en las siguientes tablas:

1. ¿CUAL ES SU PUNTO DE PARTIDA EN EL VIAJE?

TIPO DE VEHICULO	CANTIDAD	AREQUIPA	CIUDAD DE DIOS
AUTO	12	3	8
CAMIONETA	9	4	7
TAXI	19	8	11
COUSTER	15	7	8
TOTAL	55	22	34

2. ¿CUAL ES SU PUNTO DE LLEGADA EN EL VIAJE?

TIPO DE VEHICULO	CANTIDAD	YURA	EXTERIOR	CIUDAD DE DIOS	AREQUIPA
AUTO	12	1	1	5	5
CAMIONETA	9	4	0	2	3
TAXI	19	3	1	8	7
COUSTER	15	2	0	5	8
TOTAL	55	10	2	20	23

3. ¿EN CUÁNTO TIEMPO ESPERA LLEGAR A SU DESTINO?

TIPO DE VEHICULO	CANTIDAD	MENOS DE 20 MINUTOS	MAS DE 20 MINUTOS
AUTO	12	5	7
CAMIONETA	9	2	7
TAXI	19	8	11
COUSTER	15	5	10
TOTAL	55	20	35

4. ¿REALIZA ESTE VIAJE A DIARIO?

TIPO DE VEHICULO	CANTIDAD	SI	NO
AUTO	12	7	5
CAMIONETA	9	5	4
TAXI	19	8	11

COUSTER	15	7	8
TOTAL	55	27	28

5. ¿CUÁL ES EL PRINCIPAL PROBLEMA DE LA CARRETERA AREQUIPA – YURA?

TIPO DE VEHICULO	CANTIDAD	TRAFICO	ANCHO DE VIA	ESTADO DE VIA
AUTO	12	3	5	4
CAMIONETA	9	4	2	3
TAXI	19	10	3	6
COUSTER	15	6	5	5
TOTAL	55	23	15	18

6. ¿POR QUÉ MOTIVO USA USTED ESTA VÍA?

TIPO DE VEHICULO	CANTIDAD	TRABAJO	MOTIVOS PARTICULARES	VIAJE
AUTO	12	5	6	1
CAMIONETA	9	3	5	1
TAXI	19	15	2	2
COUSTER	15	15	0	0
TOTAL	55	38	13	4

7. ¿TOMARÍA LA AV. LAS TORRES EN SU ESTA ACTUAL?

TIPO DE VEHICULO	CANTIDAD	SI	NO
AUTO	12	2	10
CAMIONETA	9	2	7
TAXI	19	5	14
COUSTER	15	0	15
TOTAL	55	9	46

8. ¿TOMARÍA LA AV. LAS TORRES EN UN ESTADO MEJORADO (NO NECESARIAMENTE ASFALTADA)?

TIPO DE VEHICULO	CANTIDAD	SI	NO	PORCENTAJE ATRAIDO
AUTO	12	3	8	25.00%
CAMIONETA	9	4	5	44.44%
TAXI	19	8	11	42.11%
COUSTER	15	1	14	6.67%
TOTAL	55	16	38	29.09%

De estas encuestas, lo que se puede analizar de cada pregunta es lo siguiente:

- La mayor cantidad de vehículos encuestados tienen como punto de partida Arequipa y Ciudad de Dios, casi en la misma proporción, siendo este último un poco mayor.
- Así mismo, de la cantidad de vehículos encuestados, en referencia al destino o punto de llegada de su viaje, es equitativa la cantidad entre Ciudad de Dios y Arequipa, quedando Yura y destinos del exterior, como lugares de menor llegada.
- En referencia al tiempo en el cual los vehículos encuestados esperan llegar a su destino, es equitativa también entre menos de 20 minutos y más de 20 minutos, siendo este último el más esperado por los conductores.
- En cuanto a la frecuencia en la cual los vehículos encuestados toman dicha ruta, los resultados se inclinan a afirmar el uso de esta vía a diario, siendo este un indicativo de la cantidad de vehículos que transitan en dicha vía.
- A la pregunta del principal problema que tiene la carretera Arequipa – Yura, este nos da como resultado a el Tráfico como

mayor inconveniente, seguido de cerca y casi a la par por factores como el ancho de vía y el estado de la misma.

- El motivo principal del uso de la vía son por motivos de trabajo, tanto para las diferentes entidades que hay en la zona de Ciudad de Dios, como de Arequipa, el resto, en menos proporción, se inclina a motivos particulares o motivos de viajes.
- A la pregunta de si tomarían la Av. Las Torres en su estado actual, el 16% la tomaría, pero el 84% opta por no tomarla.
- Por último, a la pregunta de si tomarían la Av. Las Torres en un estado mejorado (no necesariamente asfaltada), el 45% la tomaría, pero el 55% opta por no tomarla. Detallando más este punto, la incidencia del tipo de vehículos que si tomarían la vía, esta referenciada a los vehículos particulares y no los de servicio público, debido principalmente a la ruta a las que están obligados a cumplir.

Es por ello que, como conclusión a dichas encuestas, se puede determinar un porcentaje atraído de vehículos a la vía de Estudio, esta puede interpretarse de la siguiente manera:

- El 45% de los vehículos tomaría dicha avenida en un estado mejorado.
- Interpretando que antes el 16% la tomaría en el estado actual, este ha aumentado.
- Ha aumentado el 29% de los vehículos, en referencia a la cantidad antes de la mejora y después de la mejora.
- El Transito Atraído será de 45% de vehículos.

e) Crecimiento del parque automotor

Datos obtenidos por la Superintendencia Nacional de los Registros Públicos – SUNARP, dichos datos están estimados al año 2013.

Tabla 7.1.5. Parque Vehicular Estimado en Arequipa.

Año	Parque vehicular estimado Arequipa
2003	78,162
2004	78,858
2005	79,544
2006	81,293
2007	84,829
2008	91,674
2009	98,270
2010	106,521
2011	118,985
2012	134,533
2013	141,037

Fuente: SUNARP

Se realiza la gráfica en el eje X (los años) y en el eje Y (Parque vehicular estimado Arequipa) y se obtiene línea tendencia exponencial:

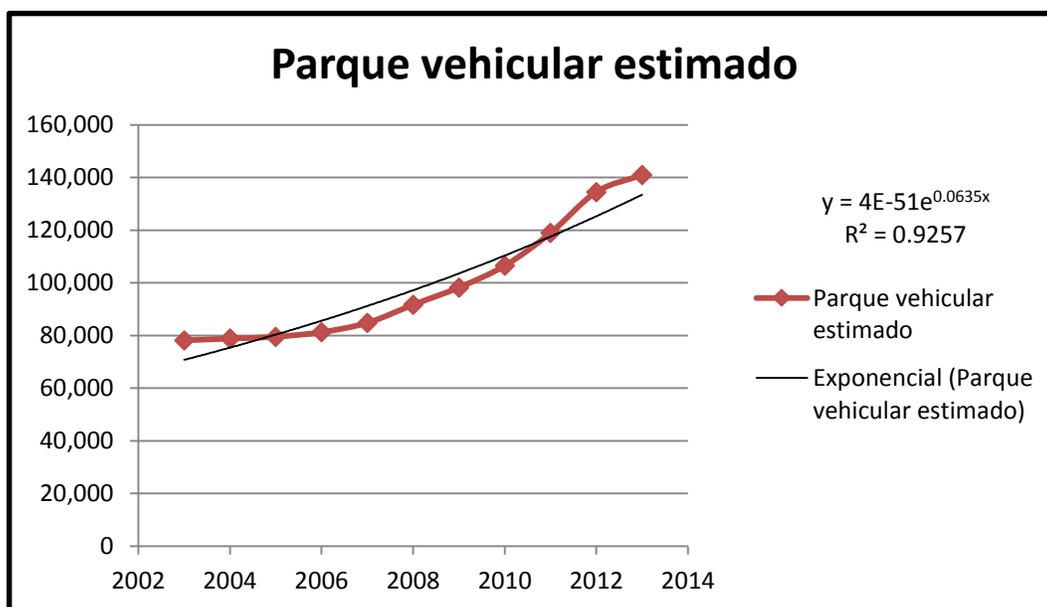


Figura 4-10: Línea de Tendencia exponencial en el crecimiento del parque vehicular en Arequipa – Fuente Elaboración Propia

Según la ecuación que se obtiene podemos concluir que la tasa de crecimiento del Parque Vehicular Estimado de Arequipa es: **0.0635=6.35%**.

f) Calculo del Factor Carril y Factor Direccional

Para calcular el factor carril y el factor direccional para nuestra vía, se tomara la siguiente tabla y que está basada en la norma Peruana de diseño de pavimentos MTC 2013.

Numero de calzadas	Numero de Sentidos	Número de carriles por sentido	Factor Direccional (Fd)	Factor Carril (Fc)	Factor Ponderado Fd x Fc para carril de diseño
1 calzada (para IMDa total de la calzada)	1 sentido	1.00	1.00	1.00	1.00
	1 sentido	2.00	1.00	0.80	0.80
	1 sentido	3.00	1.00	0.60	0.60
	1 sentido	4.00	1.00	0.50	0.50
	2 sentidos	1.00	0.50	1.00	0.50
	2 sentidos	2.00	0.50	0.80	0.40
2 calzadas con separador central (para IMDa total de la calzada)	2 sentidos	1.00	0.50	1.00	0.50
	2 sentidos	2.00	0.50	0.80	0.40
	2 sentidos	3.00	0.50	0.60	0.30
	2 sentidos	4.00	0.50	0.50	0.25

Sera usado un Fd= 0.50, un Fc=1.00 y un Factor Ponderado de 0.50

Tabla 4-1: Calculo de Factor Carril y Factor Direccional

g) Determinación del índice de crecimiento

▪ Población

Se ha calculado la población basándose en las proyecciones del INEI, para los años 2000 al 2015 en el Distrito de Yura, a continuación en la siguiente tabla se cuantificaran dichas proyecciones.

AÑO	POBLACION
2005	14,403
2006	15,271
2007	16,179
2008	17,128
2009	18,127
2010	19,183
2011	20,298
2012	21,474
2013	22,710
2014	24,007
2015	25,367

Tabla 4-2: Proyecciones de población del Distrito de Yura

Según la ecuación que se obtiene podemos concluir que la tasa de crecimiento poblacional del distrito de Yura es $0.0332 = 3.32\%$.

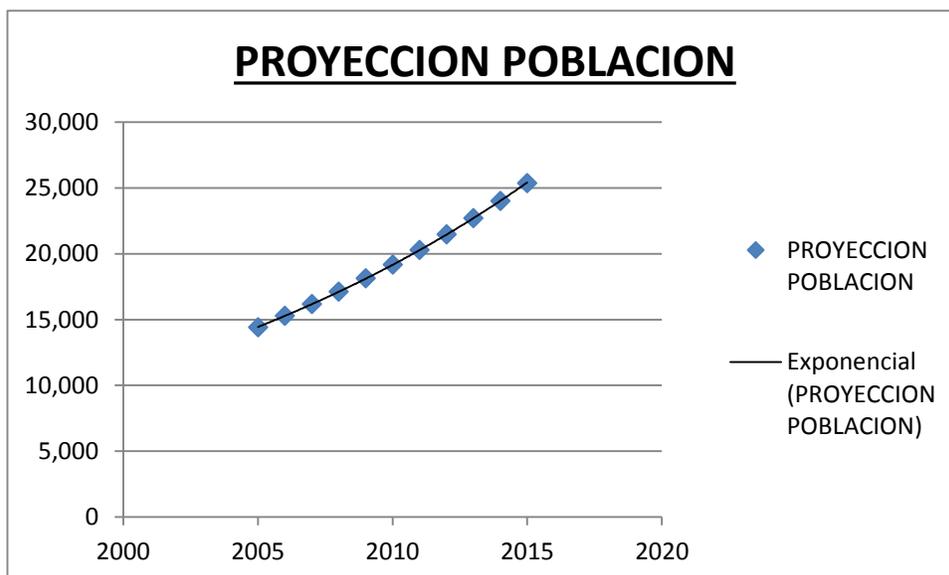


Figura 4-11: Grafico de Proyección de Población al año 2020 en el Distrito de Yura

▪ **Producto Bruto Interno (PBI) en Arequipa**

Datos obtenidos del INEI (Instituto Nacional de Estadística e informática), desde el año 2001 al 2013, el PBI esta en miles de nuevos soles por año.

AÑO	P.B.I AREQUIPA
2001	5.925.803
2002	6.426.819
2003	6.652.795
2004	7.015.309

2005	7.495.342
2006	7.952.656
2007	9.193.252
2008	9.995.135
2009	10.038.408
2010	10.832.088
2011	11.352.718
2012	12.336.720
2013	12.953.556

Tabla 4-3: Producto Bruto Interno en Arequipa

Se realiza la gráfica en el eje X (los años) y en el eje Y (el PBI) y se obtiene línea tendencia exponencial:

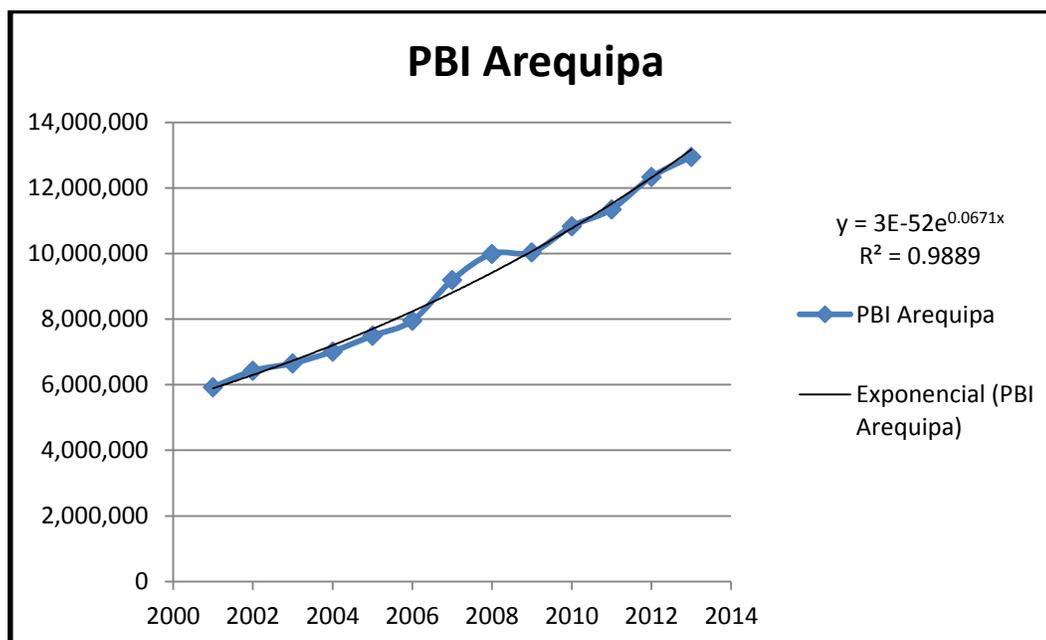


Figura 4-12: Grafica Exponencial PBI en Arequipa

Según la ecuación que se obtiene podemos concluir que la tasa de crecimiento del PBI de Arequipa es **0.0671 =6.71%**.

h) Determinación del periodo de vida

Para la determinación del periodo de vida, se tomara, como redacta la teoría estará en función al tipo de carretera, para lo cual se expresa lo siguiente:

- Pavimentada con bajos volúmenes de transito: de 15 a 25 años.
- Revestida con bajos volúmenes de transito: de 10 a 20 años.
- Afirmada o lastrada: de 5 a 10 años.

Por lo antes expuesto, la presente investigación se inclina a ser Revestida con bajos volúmenes de tránsito, ya que, al usar un polímero como capa de rodadura, esta será revestida y con bajo volumen de transito al notar que incluso con el trafico atraído gracias al mejoramiento de la vía, esta no llega a ser de alto tráfico. Siendo así, el periodo de diseño seria de 10 a 20 años.

i) Calculo del Factor Camión

Tal y como se expresa en la Teoría, se tomaran fórmulas para calcular el peso en Ejes Equivalentes de cada tipo de vehículo, ya sea Tandem o Tridem, para lo cual se buscaron pesos referenciales de cada tipo de vehículos que fue tomado en cuenta para el estudio de tráfico y que fue observado en el conteo de vehículos.

SEGÚN ESPECIFICACIONES TECNICAS DE VEHICULOS LIGEROS		
	PESO VACIO MIN (kg)	PESO VACIO MAX (kg)
BICICLETAS	10	15
MOTOS	188	191
TAXIS	640	915
STATION WAGON	1170	1800
AUTOS	760	2905
PICK UP	1380	4838
COMBIS	2400	3880
PANEL	2505	3140
COASTER	5310	5670
SEGÚN ESPECIFICACIONES TECNICAS DE VEHICULOS PESADOS		
	PESO VACIO MAX (kg)	PESO VACIO MIN (kg)
B2	10	15
B3	188	191
C2	640	915
C3	1170	1800
C4	760	2905
T2S3	1380	4838
T3S3	2400	3880

Es así como, en la siguiente tabla se calcularan los factores camión de los tipos de vehículos.

	TONELADAS (TON)						FACTOR CAMION						TOTAL	
	SIMPLE			TANDEM		TRID	SIMPLE			TANDEM		TRID		
BICICLETAS	0.015						0.000							2.668E-11
MOTOS	0.191						0.000							7.0139E-07
TAXIS	0.458	0.458					0.000	0.000						4.6176E-05
STATION WAGON	0.900	0.900					0.000	0.000						0.00069155
AUTOS	1.453	1.453					0.002	0.002						0.00469158
PICK UP	2.419	2.419					0.018	0.018						0.0360909
COMBIS	1.940	1.940					0.007	0.007						0.01493005
PANEL	1.570	1.570					0.003	0.003						0.00640402
COASTER	2.835	2.835					0.034	0.034						0.06808736
B2	7.000	11.000					1.265	3.238						4.50365371
B3	7.000				16.000		1.265				1.366			2.6313113
C2	7.000	11.000					1.265	3.238						4.50365371
C3	7.000				18.000		1.265				2.019			3.2845802
T2S2	7.000				11.000	18.000	1.265				3.238	2.019		6.52286716
T2S3	7.000				11.000		1.265				3.238		1.706	6.20967996
T3S3	7.000				18.000		1.265				2.019		1.706	4.99060645

j) Cálculo del ESAL de Diseño

TOTAL DE VEHICULOS POR SEMANA										
	CANT. DIA	ATRAIDO %	TRAFICO PROYECTADO	CARRIL DE DISEÑO	FACTOR DE CRECIMIENTO	TRANSITO ACTUAL	TRANSITO NUEVO DE DISEÑO	FACTOR CAMION	ESAL ACTUAL	NUEVO ESAL
BICICLETAS	47.26	0.00%	47.26	0.50	13.63	117543.42	117543.42	2.67E-11	0.0000031	0.0000031
MOTOS	48.65	0.00%	48.65	0.50	13.63	121000.58	121000.58	7.01E-07	0.0848682	0.0848682
TAXIS	70.19	42.11%	99.75	0.50	13.63	174586.55	248096.68	4.62E-05	8.062	11.4561740
STATION WAGON	6.95	0.00%	6.95	0.50	13.63	17285.80	17285.80	0.00069	11.95	11.95
AUTOS	65.33	25.00%	81.66	0.50	13.63	162486.50	203108.12	0.00469	762.32	952.90
PICK UP	18.07	44.44%	26.10	0.50	13.63	44943.07	64917.77	0.03609	1,622.04	2,342.94
COMBIS	1.39	0.00%	1.39	0.50	13.63	3457.16	3457.16	0.01493	51.62	51.62
PANEL	1.39	0.00%	1.39	0.50	13.63	3457.16	3457.16	0.00640	22.14	22.14
COASTER	0.00	6.67%	0.00	0.50	13.63	0.00	0.00	0.06809	0.00	0.00
B2	4.40	0.00%	4.40	0.50	13.63	10940.61	10940.61	4.50365	49,272.73	49,272.73
B3	0.00	0.00%	0.00	0.50	13.63	0.00	0.00	2.63131	0.00	0.00
C2	0.00	0.00%	0.00	0.50	13.63	0.00	0.00	4.50365	0.00	0.00
C3	0.00	0.00%	0.00	0.50	13.63	0.00	0.00	3.28458	0.00	0.00
C4	0.00	0.00%	0.00	0.50	13.63	0.00	0.00	6.52287	0.00	0.00
T2S3	0.63	0.00%	0.63	0.50	13.63	1562.94	1562.94	6.20968	9,705.39	9,705.39
T3S3	0.00	0.00%	0.00	0.50	13.63	0.00	0.00	4.99061	0.00	0.00
IMDA	264.26		318.17						61,456.33	62,371.21

Es así como se obtiene que el ESAL de diseño, es decir, el **número de repeticiones de ejes equivalentes proyectados para la Avenida Las Torres es de 62,371.21 veces el Eje Equivalente**, considerando el tránsito atraído que se generaría al ofrecer el mejoramiento de dicha vía, en referencia al tránsito actual que circula por la Carretera Arequipa – Yura.

4.1.3. METODO MECANISTICO PARA EL DISEÑO DEL PAVIMENTO

Las carreteras no pavimentadas con revestimiento granular en sus capas superiores y superficie de rodadura corresponden en general a carreteras de bajo volumen de tránsito y un número de repeticiones de Ejes Equivalentes de hasta 300,000 EE en un periodo de diez años; estas carreteras no pavimentadas pueden ser clasificadas como sigue:

- a) Carreteras de tierra constituidas por suelo natural y mejorado con grava seleccionada por zarandeo y finos ligantes.
 - b) Carreteras gravosas constituidas por una capa de revestimiento con material natural pétreo sin procesar, seleccionado manualmente o por zarandeo, de tamaño máximo de 75 mm.
 - c) Carreteras afirmadas constituidas por una capa de revestimiento con materiales de cantera, dosificadas naturalmente o por medios mecánicos (zarandeo), con una dosificación especificada, compuesta por una combinación apropiada de tres tamaños o tipos de material: piedra, arena y finos o arcilla, siendo el tamaño máximo 25 mm. Pudiendo ser estos: Afirmados con gravas naturales o zarandeadas, o Afirmados con gravas homogenizadas mediante chancado.
 - d) Carreteras con superficie de rodadura tratada con materiales industriales:
 - Afirmados con superficie tratada para el control de polvo, con materiales como: cloruros, aditivos, productos asfálticos (impresión reforzada o diferentes tipos de sello asfáltico), cemento, cal u otros estabilizadores químicos.
 - Suelos naturales estabilizados con: emulsión asfáltica, cemento, cal, cloruros, geo sintéticos y otros aditivos que mejoren las propiedades del suelo.
-

Se presenta una metodología para diseñar estructuras de pavimentos cuya capa de rodadura estará compuesta por material de afirmado en su totalidad, entendiéndose esta como una capa de material granular destinada a soportar las cargas de diseño que adicionalmente puede ser tratada para el control de polvo.

La metodología a desarrollarse permitirá diseñar de manera técnica y rápida el espesor de una capa de afirmado, teniendo en cuenta la resistencia de la sub rasante y el tránsito estimado para un periodo de diseño.

En el funcionamiento estructural de las capas de revestimiento granular influye el tipo de suelo de la subrasante, el número total de los vehículos pesados durante el periodo de diseño, expresados en ejes equivalentes (EE); y, los materiales granulares cuyas propiedades mecánicas y comportamiento son conocidos y están considerados en las Especificaciones Técnicas Generales para la construcción de carreteras vigente; también forman parte las estabilizaciones y mejoramientos de suelos de la subrasante o el tratamiento de las capas de revestimiento granular.

Esta metodología establece el espesor del diseño en función de los siguientes parámetros:

- Características de la sub rasante
- Nivel de Tránsito

Para el dimensionamiento de los espesores de la capa de afirmado se adoptó el método NAASRA (National Association of Australian State Road Authorities, hoy AUSTROADS) que relaciona el valor de soporte del suelo (CBR) y la carga actuante sobre el afirmado, expresada en número de Repeticiones de EE (Ejes Equivalentes). Se debe tomar en cuenta que dicho manual señala que el espesor de la capa de afirmado no debe ser

menor a 150 mm. El método se basa prácticamente en la aplicación de la siguiente fórmula que como se explicó con anterioridad toma los valores de EE y CBR.

$$e = [219 - 211 * (\log_{10} CBR) + 58 * ((\log CBR)^2)] * \log\left(\frac{EE}{120}\right)$$

Dónde:

E= espesor de la capa de afirmado en mm

CBR= valor del CBR de la subrasante

EE= número de repeticiones de EE para el carril

El manual de diseño del MTC indica que se podrán ajustar las secciones de afirmado en función de las condiciones y experiencias locales, para lo cual se deberá:

- Analizar las condiciones de la subrasante natural, la calidad de los materiales de las canteras, la demanda específica de tráfico en el tramo.
- En caso de que el tramo tenga ya una capa de afirmado, se aprovechará el aporte estructural de la capa existente. Solo se colocará el espesor de afirmado necesario para completar el espesor total obtenido según la metodología de diseño indicada. Este espesor complementario no será menor a 100 mm. El nuevo material de afirmado se mezclará con el existente hasta homogeneizarlo y conformar la nueva capa de afirmado, debidamente perfilada y compactada.
- Para carreteras de muy bajo volumen de tránsito, menor a 50, se estudiarán y analizarán diferentes alternativas constructivas de

capas granulares, incluyendo macadam granular, y estabilización con gravas.

- En el caso de no haber disponibilidades de gravas de fácil uso a distancias económicamente razonables, se podrá recurrir a procedimientos de estabilización de los suelos naturales, analizando económicamente alternativa como estabilización con cal, estabilización con sal, estabilización con cemento y como dicta el proyecto, estabilización química, según sea el caso.
- En caso de requerirse proteger la superficie de las carreteras afirmadas para retardar su deterioro por razones de erosión y pérdidas de material, debido al tránsito y/o para evitar la presencia de polvo levantado por el tránsito que crea riesgos y deteriora el ambiente agrícola, podrá colocarse una capa protectora que podría ser una imprimación reforzada bituminosa o una capa superficial de afirmado con mayor índice de plasticidad que reemplazaría un espesor similar del afirmado diseñado o una estabilización con cloruros de sodio, de magnesio, u otros estabilizadores químicos.

CAPITULO V

5. DISEÑO DEL PROYECTO

5.1. ANÁLISIS DEL DISEÑO

5.1.1. ENSAYOS AL SUELO SIN POLIMERO

a) Muestreo

Para la primera etapa, el muestreo, primeramente se debe de extraer las muestras de cada calicata o sondeo, tal y como se indica con anterioridad, dichas muestras serán de aproximadamente entre 40 y 50 kilogramos por cada calicata, con la finalidad de poseer la cantidad necesaria para la ejecución de todos los ensayos, tanto con el suelo como los aplicados con el polímero acrílico reticulado.

Es así como se realizó la extracción de muestras, las cuales fueron colocadas en sacos y estas rotuladas por el número de calicata de procedencia, para luego ser transportadas al laboratorio donde se realizaran los ensayos.

Acto seguido, de cada calicata se realizó el ensayo de cuarteo correspondiente, este mismo se realizó siguiendo los parámetros que dicta la parte teórica. El tipo de cuarteo que se aplico es del tipo mecánico, así mismo este procedimiento se realizó en una superficie despejada y limpia, luego de realizado el ensayo y obtenida la muestra representativa para cada ensayo, estas fueron almacenadas en bolsas de plástico que permitan conservar las propiedades físicas con las que fueron extraídas.

b) Análisis Granulométrico

Tal y como dicta el procedimiento, se prepara la muestra representativa que dio como resultado el ensayo de Cuarteo, acto seguido se procede al secado de la muestra al horno, dichos pesos se mostraran en la siguiente tabla:

N° DE CALICATA	PESO NATURAL (KG)	PESO SECO (KG)
C-01	5.568	5.274
C-02	5.164	5.112
C-03	5.243	5.578
C-04	5.720	5.460

A continuación se utilizó la muestra por el tamiz N°4, el cual separara la muestra en partículas finas y gruesas, con la finalidad de poder realizar el ensayo de manera adecuada. Es así como, de dicho tamizado nos quedan dos muestras para el ensayo de Granulometría para cada Muestra Cuarteada, esto se realizara para las cuatro calicatas, por lo que, obtendremos un total de 8 muestras, 4 finas y 4 gruesas.

Con las muestras gruesas y finas, se procede con el tamizado, primeramente de las partículas gruesas, es decir, las retenidas en el Tamiz N°4. Los resultados de dicho tamizado se expresaran en el siguiente cuadro:

CALICATA C-1			
MALA	ABERTURA		PESO RETENIDO (KG)
3"	76.2	=	0.000
2 1/2"	63.1	=	0.000
2"	50	=	0.000
1 1/2"	37.5	=	0.000
1"	25	=	0.117
3/4"	19	=	0.074
1/2"	12.5	=	0.141
3/8"	9.5	=	0.086

CALICATA C-2			
MALA	ABERTURA		PESO RETENIDO (KG)
3"	76.2	=	0.000
2 1/2"	63.1	=	0.000
2"	50	=	0.000
1 1/2"	37.5	=	0.000
1"	25	=	0.145
3/4"	19	=	0.148
1/2"	12.5	=	0.162
3/8"	9.5	=	0.066

CALICATA C-3			
MALA	ABERTURA		PESO RETENIDO (KG)
3"	76.2	=	0.000

2 1/2"	63.1	=	0.000
2"	50	=	0.000
1 1/2"	37.5	=	0.000
1"	25	=	0.107
3/4"	19	=	0.104
1/2"	12.5	=	0.208
3/8"	9.5	=	0.132

CALICATA C-4			
MALA	ABERTURA		PESO RETENIDO (KG)
3"	76.2	=	0.000
2 1/2"	63.1	=	0.000
2"	50	=	0.000
1 1/2"	37.5	=	0.205
1"	25	=	0.067
3/4"	19	=	0.102
1/2"	12.5	=	0.200
3/8"	9.5	=	0.152

En el caso de las partículas finas, no se procederá al tamizado con el resto de muestra que quedo del primer tamizado, para este procedimiento se utilizara una muestra de 700 gramos, la cual deberá ser lavada y secada, este paso se realiza para eliminar el polvo de la muestra. Acto seguido se procedió a secar la muestra a la estufa y pasarla por los tamices inferiores al N°4. Los resultados de dicho tamizado se expresaran en la siguiente tabla:

CALICATA C-1			
N°8	2.36	=	0.062
N°10	2	=	0.020
N°16	1.18	=	0.071
N°30	0.6	=	0.114
N°40	0.355	=	0.069
N°50	0.3	=	0.066
N°80	0.18	=	0.149
N°100	0.15	=	0.054
N°200	0.075	=	0.056
FONDO		=	0.038

CALICATA C-2			
N°8	2.36	=	0.073
N°10	2	=	0.014
N°16	1.18	=	0.052
N°30	0.6	=	0.080
N°40	0.355	=	0.068
N°50	0.3	=	0.074
N°80	0.18	=	0.155
N°100	0.15	=	0.058
N°200	0.075	=	0.074
FONDO		=	0.051

CALICATA C-3			
N°8	2.36	=	0.103
N°10	2	=	0.029
N°16	1.18	=	0.086
N°30	0.6	=	0.098
N°40	0.355	=	0.051
N°50	0.3	=	0.046
N°80	0.18	=	0.076
N°100	0.15	=	0.021
N°200	0.075	=	0.061
FONDO		=	0.004

CALICATA C-4			
N°8	2.36	=	0.074
N°10	2	=	0.019
N°16	1.18	=	0.063
N°30	0.6	=	0.098
N°40	0.355	=	0.065
N°50	0.3	=	0.064
N°80	0.18	=	0.136
N°100	0.15	=	0.041
N°200	0.075	=	0.081
FONDO		=	0.058

Por lo tanto, teniendo ambos resultados de tamizados, se puede armar un cuadro de granulometría con su respectiva curva granulométrica de

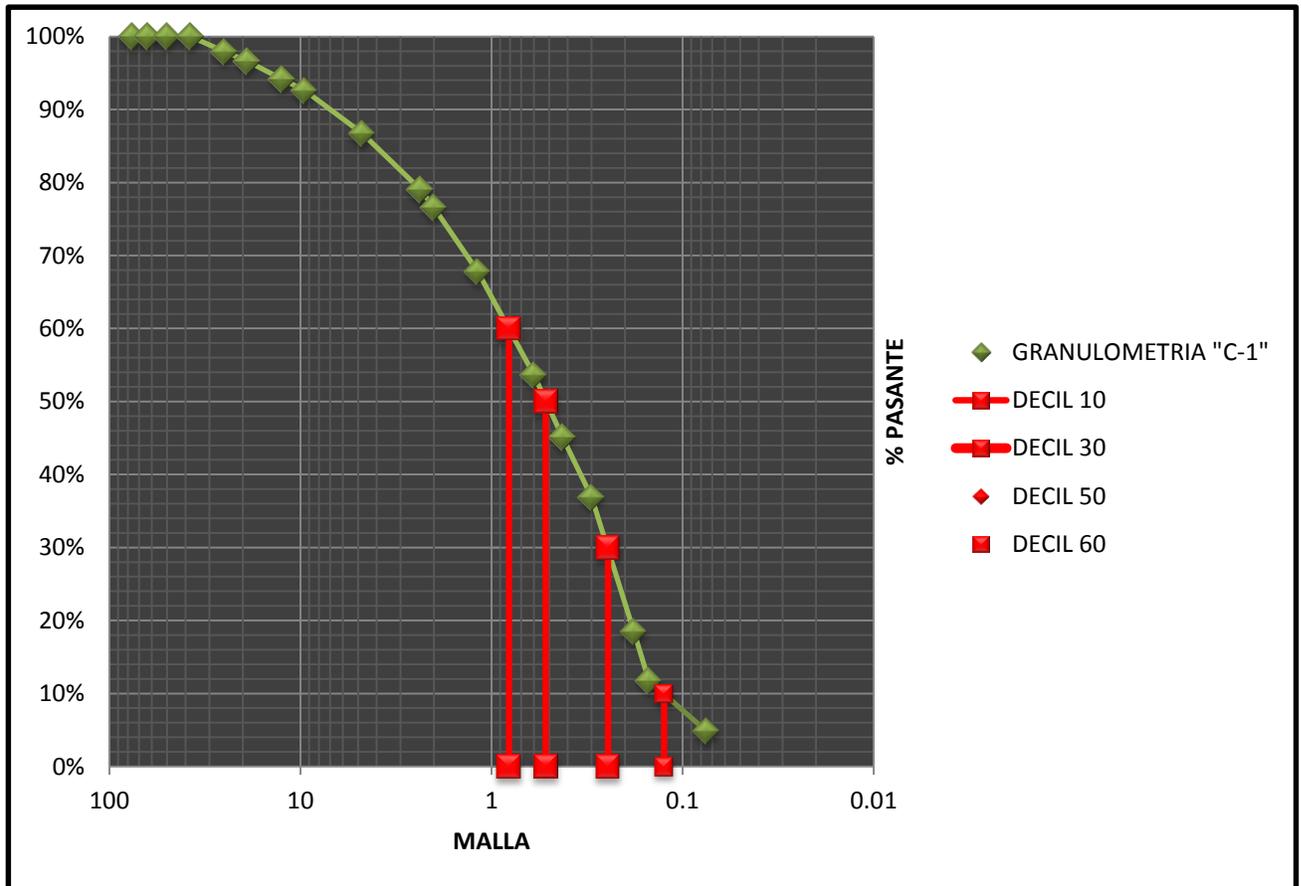
cada muestra, uniendo los resultados de las partículas finas y gruesas, estos son:

ANALISIS GRANULOMETRICO						
CALICATA C-1						
MALA	ABERTURA		PESO RETENIDO (KG)	% RETENIDO	% RETENIDO ACUMULADO	% PASANTE ACUMULADO
3"	76.2	=	0.000	0.00%	0.00%	100.00%
2 1/2"	63.1	=	0.000	0.00%	0.00%	100.00%
2"	50	=	0.000	0.00%	0.00%	100.00%
1 1/2"	37.5	=	0.000	0.00%	0.00%	100.00%
1"	25	=	0.117	2.06%	2.06%	97.94%
3/4"	19	=	0.074	1.30%	3.36%	96.64%
1/2"	12.5	=	0.141	2.48%	5.85%	94.15%
3/8"	9.5	=	0.086	1.51%	7.36%	92.64%
N°4	4.75	=	0.335	5.90%	13.26%	86.74%
N°8	2.36	=	0.062	7.68%	20.95%	79.05%
N°10	2	=	0.020	2.48%	23.42%	76.58%
N°16	1.18	=	0.071	8.80%	32.22%	67.78%
N°30	0.6	=	0.114	14.13%	46.35%	53.65%
N°40	0.425	=	0.069	8.55%	54.90%	45.10%
N°50	0.3	=	0.066	8.18%	63.08%	36.92%
N°80	0.18	=	0.149	18.46%	81.54%	18.46%
N°100	0.15	=	0.054	6.69%	88.23%	11.77%
N°200	0.075	=	0.056	6.94%	95.17%	4.83%
FONDO	-	=	0.039	4.83%	100.00%	0.00%

	PESO RETENIDO	PORCENTAJE
MUESTRA TOTAL HUMEDA	6.218	-
MUESTRA TOTAL SECA	5.677	100%
MUESTRA GRUESA	0.753	13.26%
MUESTRA FINA	4.924	86.74%

TAMIZADO FINOS	0.700	-
	VALOR PORCENTAJE	VALOR DECIL
D10	10.000	0.125
D30	30.000	0.245
D50	50.000	0.520
D60	60.000	0.810
CU	6.480	
CC	0.593	

Y cuya grafica será la siguiente:

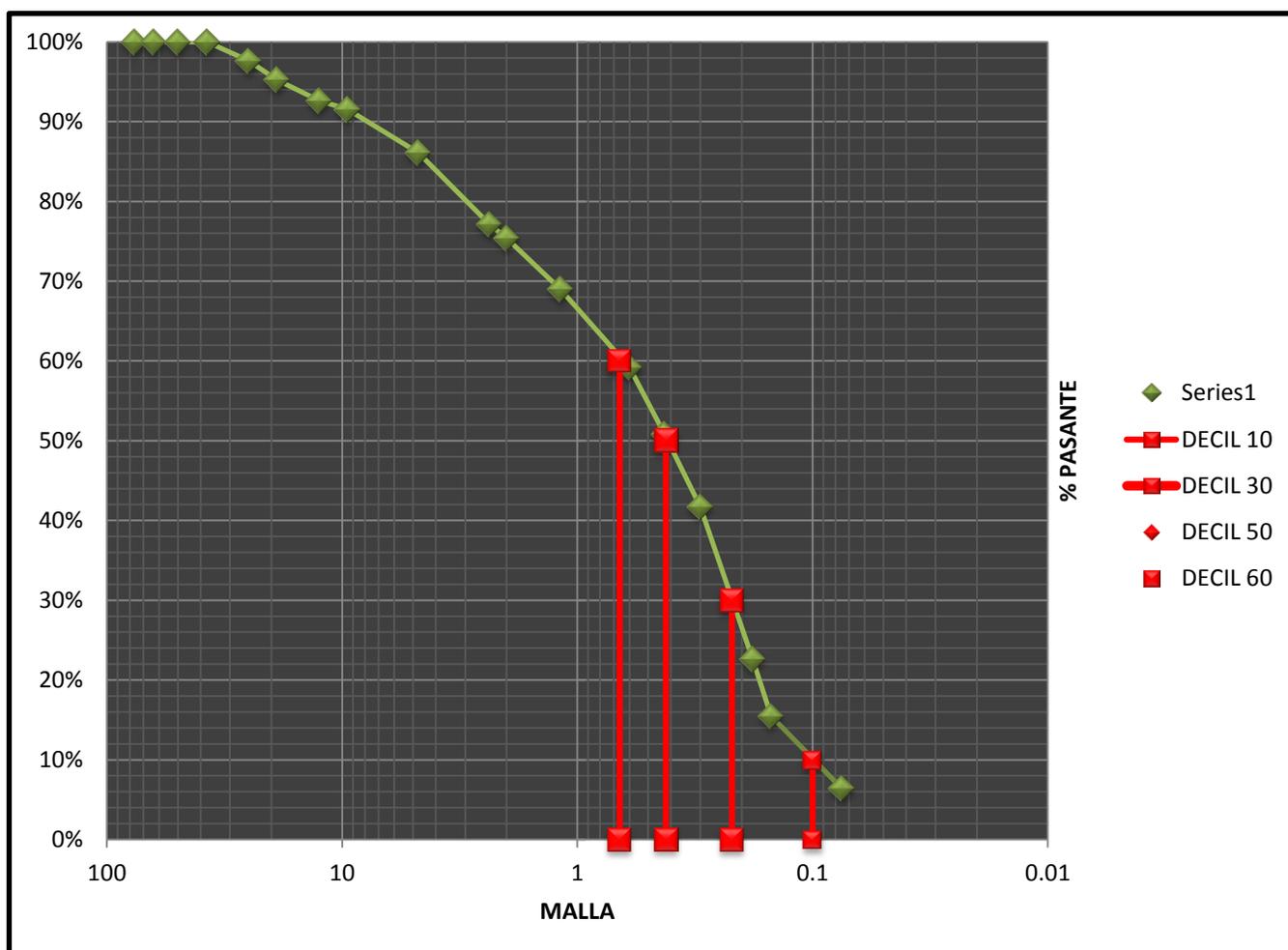


ANALISIS GRANULOMETRICO						
CALICATA C-2						
MALA	ABERTURA		PESO RETENIDO (KG)	% RETENIDO	% RETENIDO ACUMULADO	% PASANTE ACUMULADO
3"	76.2	=	0.000	0.00%	0.00%	100.00%
2 1/2"	63.1	=	0.000	0.00%	0.00%	100.00%
2"	50	=	0.000	0.00%	0.00%	100.00%
1 1/2"	37.5	=	0.000	0.00%	0.00%	100.00%
1"	25	=	0.145	2.35%	2.35%	97.65%
3/4"	19	=	0.148	2.40%	4.75%	95.25%
1/2"	12.5	=	0.162	2.63%	7.38%	92.62%
3/8"	9.5	=	0.066	1.07%	8.45%	91.55%
N°4	4.75	=	0.336	5.45%	13.89%	86.11%
N°8	2.36	=	0.073	8.98%	22.87%	77.13%
N°10	2	=	0.014	1.72%	24.60%	75.40%
N°16	1.18	=	0.052	6.40%	30.99%	69.01%
N°30	0.6	=	0.080	9.84%	40.83%	59.17%
N°40	0.425	=	0.068	8.36%	49.20%	50.80%
N°50	0.3	=	0.074	9.10%	58.30%	41.70%
N°80	0.18	=	0.155	19.07%	77.37%	22.63%
N°100	0.15	=	0.058	7.13%	84.50%	15.50%
N°200	0.075	=	0.074	9.10%	93.60%	6.40%
FONDO	-	=	0.052	6.40%	100.00%	0.00%

	PESO RETENIDO	PORCENTAJE
MUESTRA TOTAL HUMEDA	6.217	-
MUESTRA TOTAL SECA	6.168	100%
MUESTRA GRUESA	0.857	13.89%
MUESTRA FINA	5.311	86.11%
TAMIZADO FINOS	0.700	-

	VALOR PORCENTAJE	VALOR DECIL
D10	10.000	0.100
D30	30.000	0.220
D50	50.000	0.420
D60	60.000	0.660
CU	6.600	
CC	0.733	

Y cuya grafica será la siguiente:

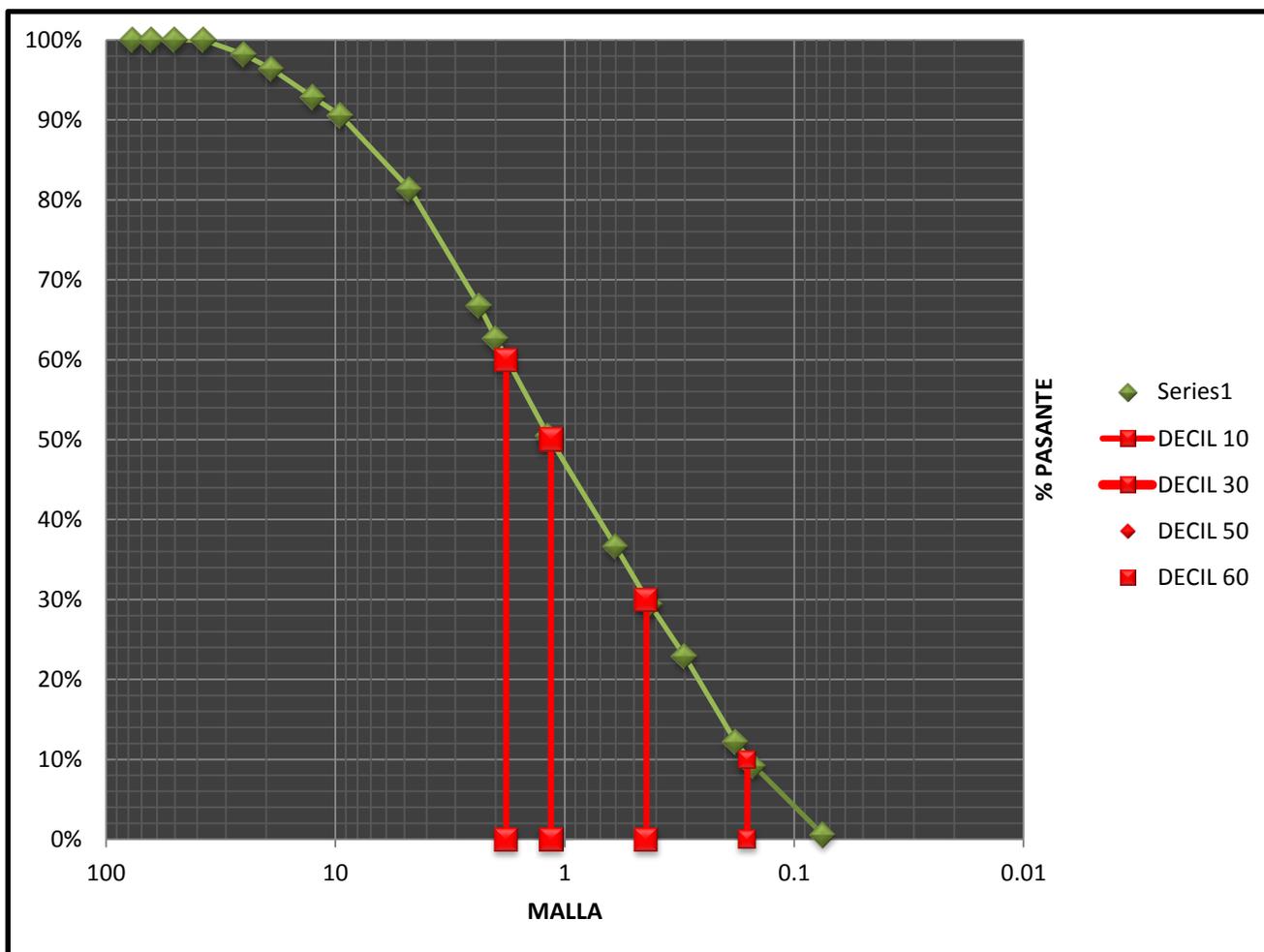


ANALISIS GRANULOMETRICO						
CALICATA C-3						
MALA	ABERTURA		PESO RETENIDO (KG)	% RETENIDO	% RETENIDO ACUMULADO	% PASANTE
3"	76.2	=	0.000	0.00%	0.00%	100.00%
2 1/2"	63.1	=	0.000	0.00%	0.00%	100.00%
2"	50	=	0.000	0.00%	0.00%	100.00%
1 1/2"	37.5	=	0.000	0.00%	0.00%	100.00%
1"	25	=	0.107	1.83%	1.83%	98.17%
3/4"	19	=	0.104	1.78%	3.62%	96.38%
1/2"	12.5	=	0.208	3.57%	7.18%	92.82%
3/8"	9.5	=	0.132	2.26%	9.44%	90.56%
N°4	4.75	=	0.538	9.22%	18.67%	81.33%
N°8	2.36	=	0.103	14.57%	33.24%	66.76%
N°10	2	=	0.029	4.10%	37.34%	62.66%
N°16	1.18	=	0.086	12.16%	49.50%	50.50%
N°30	0.6	=	0.098	13.86%	63.36%	36.64%
N°40	0.425	=	0.051	7.21%	70.58%	29.42%
N°50	0.3	=	0.046	6.51%	77.09%	22.91%
N°80	0.18	=	0.076	10.75%	87.84%	12.16%
N°100	0.15	=	0.021	2.97%	90.81%	9.19%
N°200	0.075	=	0.061	8.63%	99.43%	0.57%
FONDO	-	=	0.004	0.57%	100.00%	0.00%

	PESO RETENIDO	PORCENTAJE
MUESTRA TOTAL HUMEDA	5.966	-
MUESTRA TOTAL SECA	5.834	100%
MUESTRA GRUESA	1.089	18.67%
MUESTRA FINA	4.745	81.33%
TAMIZADO FINOS	0.575	-

	VALOR PORCENTAJE	VALOR DECIL
D10	10.000	0.160
D30	30.000	0.440
D50	50.000	1.150
D60	60.000	1.800
CU	11.250	
CC	0.672	

Y cuya grafica será la siguiente:

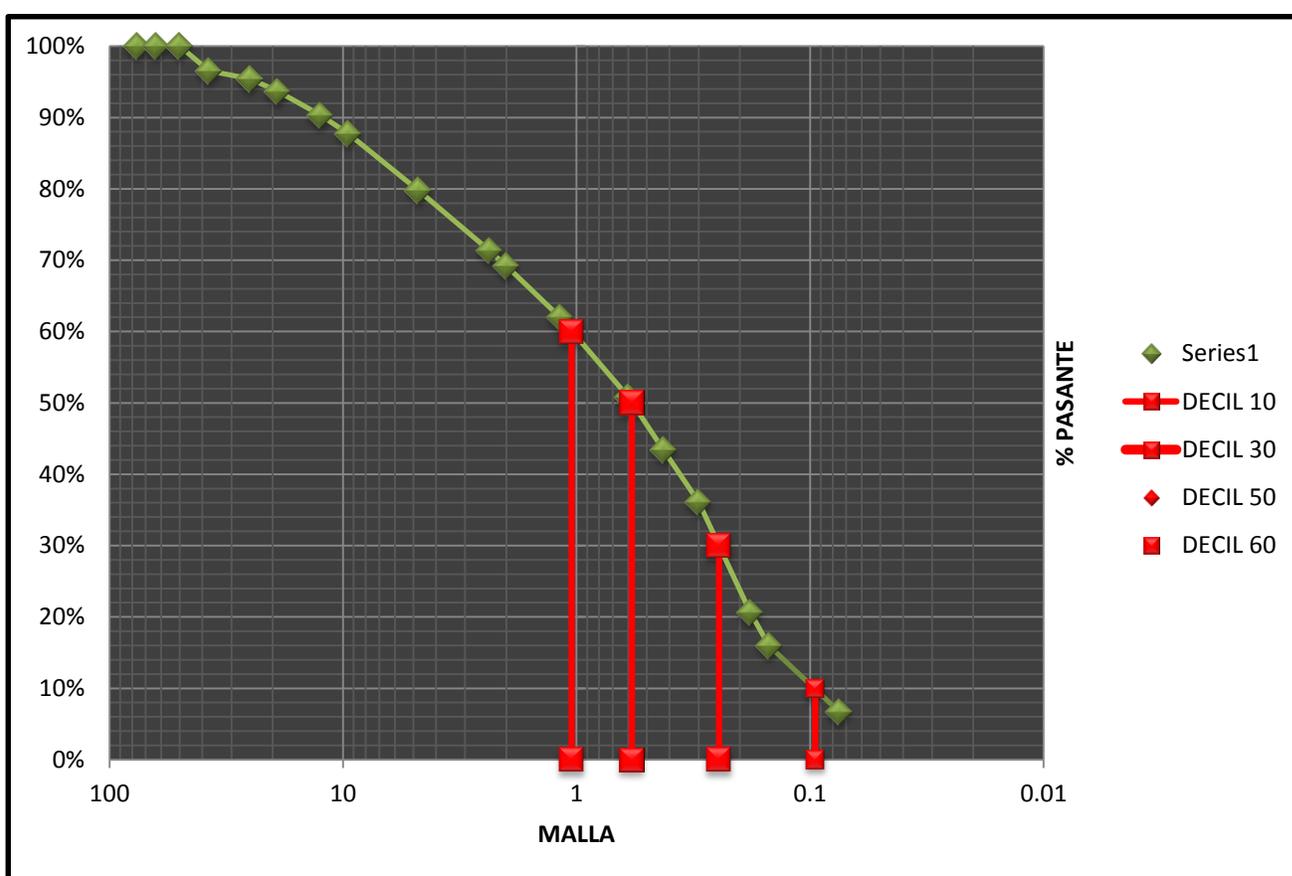


ANALISIS GRANULOMETRICO						
CALICATA C-4						
MALA	ABERTURA		PESO RETENIDO (KG)	% RETENIDO	% RETENIDO ACUMULADO	% PASANTE
3"	76.2	=	0.000	0.00%	0.00%	100.00%
2 1/2"	63.1	=	0.000	0.00%	0.00%	100.00%
2"	50	=	0.000	0.00%	0.00%	100.00%
1 1/2"	37.5	=	0.205	3.45%	3.45%	96.55%
1"	25	=	0.067	1.13%	4.58%	95.42%
3/4"	19	=	0.102	1.72%	6.30%	93.70%
1/2"	12.5	=	0.200	3.37%	9.67%	90.33%
3/8"	9.5	=	0.152	2.56%	12.23%	87.77%
N°4	4.75	=	0.474	7.98%	20.21%	79.79%
N°8	2.36	=	0.074	8.43%	28.65%	71.35%
N°10	2	=	0.019	2.17%	30.81%	69.19%
N°16	1.18	=	0.063	7.18%	37.99%	62.01%
N°30	0.6	=	0.098	11.17%	49.16%	50.84%
N°40	0.425	=	0.065	7.41%	56.57%	43.43%
N°50	0.3	=	0.064	7.29%	63.87%	36.13%
N°80	0.18	=	0.136	15.50%	79.37%	20.63%
N°100	0.15	=	0.041	4.67%	84.04%	15.96%
N°200	0.075	=	0.081	9.23%	93.28%	6.72%
FONDO	-	=	0.059	6.72%	100.00%	0.00%

	PESO RETENIDO	PORCENTAJE
MUESTRA TOTAL HUMEDA	6.070	-
MUESTRA TOTAL SECA	5.937	100%
MUESTRA GRUESA	1.200	20.21%
MUESTRA FINA	4.737	79.79%
TAMIZADO FINOS	0.700	-

	VALOR PORCENTAJE	VALOR DECIL
D10	10.000	0.095
D30	30.000	0.245
D50	50.000	0.580
D60	60.000	1.050
CU		11.053
CC		0.602

Y cuya grafica será la siguiente:



c) Ensayo de Limite Liquido

Para los ensayos de plasticidad, como se explica en la teoría, se toman muestras representativas para cada calicata, pasadas por el tamiz N°40, para obtener aproximadamente 250 gramos de cada una, dichas muestras se realizaran tanto para el ensayo de limite líquido, como para el de limite plástico. Se realizaron las pruebas para cada en muestra y se obtuvo lo siguiente:

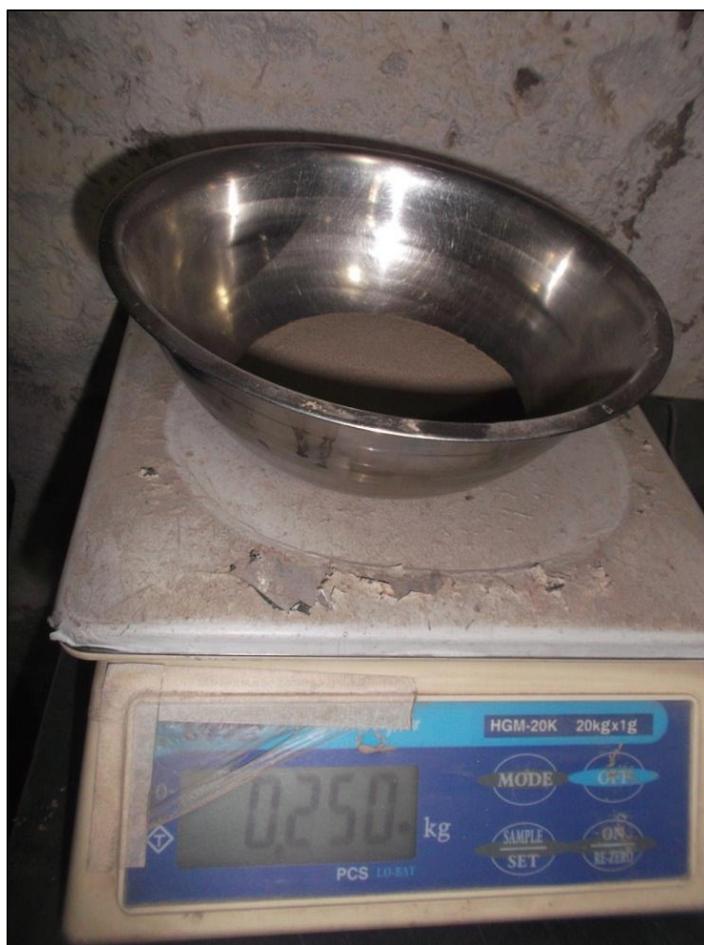


Figura 5-1: Muestra representativa para el ensayo

▪ **Calicata C-01**

Para el caso de la muestra perteneciente a la Calicata C-01, luego del pesado de la muestra, se preparan los equipos para el ensayo de Plasticidad, se realiza la correspondiente calibración de la Cuchara de Casa Grande, se humedece la muestra y se mezcla hasta que quede homogénea y pastosa, y se la coloca en la cuchara de Casagrande. Particularmente para la presente muestra, se calculó con aproximadamente 100 gramos de muestra, agregando agua de manera gradual, llegando al punto de que, luego de 3 intentos con diferentes cantidades de agua y diferentes consistencias en cada intento, se infiere que la muestra **no presenta Limite Plástico**, ya que, entre la 3era y 5ta vuelta a la manija del aparato, la muestra se junta (muy suelta), así como también, entre la 2da y 4ta vuelta a la manija del aparato, la muestra se desprende de la cuchara (muy seca). En la figura se observa que la muestra se junta de manera casi inmediata al 3er golpe de la cuchara, concluyendo que la muestra **no presenta Limite Plástico**.



Figura 5-2: Ensayo de Límite Líquido en la cuchara de Casagrande, se muestra la unión antes de los 10 golpes.

- **Calicata C-02**

Para el caso de la muestra perteneciente a la Calicata C-02, se calculó con aproximadamente 70 gramos de muestra, agregando agua de manera gradual, llegando al punto de que, luego de 5 intentos con diferentes cantidades de agua y diferentes consistencias en cada intento, se infiere que la muestra **no presenta Limite Plástico**, ya que, entre la 1era y 2da vuelta a la manija del aparato, la muestra se junta (muy suelta), así como también, entre la 2da y 5ta vuelta a la manija del aparato, la muestra se desprende de la cuchara (muy seca). En la figura se observa que la muestra se junta de manera casi

inmediata al 5to golpe de la cuchara, concluyendo que la muestra **no presenta Limite Plástico.**



Figura 5-3: Ensayo de Límite Líquido en la cuchara de Casagrande, se muestra la unión antes de los 10 golpes.

▪ **Calicata C-03**

Para el caso de la muestra perteneciente a la Calicata C-03, se calculó con aproximadamente 90 gramos de muestra, agregando agua de manera gradual, llegando al punto de que, luego de 4 intentos con diferentes cantidades de agua y diferentes consistencias en cada intento, se infiere que la muestra **no presenta Limite Plástico**, ya que, entre la 1era y 2da vuelta a la manija del aparato, la muestra se junta (muy suelta), así como también, entre la 2da y 3era vuelta a la manija

del aparato, la muestra se desprende de la cuchara (muy seca). En la figura se observa que la muestra se junta de manera casi inmediata al 3er golpe de la cuchara, concluyendo que la muestra **no presenta Limite Plástico.**



Figura 5-4: Ensayo de Límite Líquido en la cuchara de Casagrande, se muestra la unión antes de los 10 golpes.

- **Calicata C-04**

Para el caso de la muestra perteneciente a la Calicata C-04, se calculó con aproximadamente 110 gramos de muestra, agregando agua de manera gradual, llegando al punto de que, luego de 5 intentos con diferentes cantidades de agua y diferentes consistencias en cada intento, se infiere que la muestra **no presenta Limite Plástico,** ya que, entre la 2da y

4ta vuelta a la manija del aparato, la muestra se junta (muy suelta), así como también, entre la 3era y 4ta vuelta a la manija del aparato, la muestra se desprende de la cuchara (muy seca). En la figura se observa que la muestra se junta de manera casi inmediata al 4er golpe de la cuchara, concluyendo que la muestra **no presenta Límite Plástico.**



Figura 5-5: Ensayo de Límite Líquido en la cuchara de Casagrande, se muestra que el suelo se desprendió antes de los 10 golpes.

d) Ensayo de Limite Liquido

Para el ensayo de Limite Plástico, se tomaron parte de las muestras usadas para el ensayo de Limite Liquido, así mismo se prepararon los instrumentos para su ejecución, tales como el recipiente de porcelana, el vidrio usado de superficie y agua, tal y como se muestra en la siguiente imagen.



Figura 5-6: Muestra representativa para el ensayo de Limite Plástico

De esta manera se realizó el armado de la masilla en forma de varilla para ejecutar el ensayo, aumento agua gradualmente o esperando a que pierda humedad, y los resultados son los siguientes:

▪ **Calicata C-01**

Para la muestra de esta calicata, se realizó el procedimiento teórico, aumentando humedad a esta e intentando realizar el alargado de la muestra hasta el diámetro de 1/8”, pero esto no sucedió, ya que la muestra se desprendía a pesar de estar humedad y cuarteándose al instante.



Figura 5-7: Muestra cuarteada y con tendencia a la fractura

Calicata C-02

Para la muestra de esta calicata, se realizó el mismo procedimiento teórico, aumentando humedad a esta e intentando realizar el alargado de la muestra hasta el diámetro de 1/8”, pero esto nuevamente no sucedió, ya que la muestra

se desprendía a pesar de estar humedad, cuarteándose al instante e incluso rompiéndose o deshaciéndose en el intento.



Figura 5-8: Muestra totalmente fracturada y desprendida

- **Calicata C-03**

Para la muestra de esta calicata, se realizó el mismo procedimiento teórico seguido en las anteriores muestras, aumentando humedad a esta e intentando realizar el alargado de la muestra hasta el diámetro de 1/8”, pero esto no nuevamente no sucedió, ya que el mismo término rompiéndose en el intento.



Figura 5-9: Muestra totalmente fracturada, desprendida y en partes.

- **Calicata C-04**

Para la muestra de esta calicata, se realizó el mismo procedimiento teórico antes descrito, aumentando humedad a esta e intentando realizar el alargado de la muestra hasta el diámetro de 1/8”, pero esto nuevamente no sucedió, ya que el mismo término por separarse en la zona baja y seguidamente en toda muestra, desprendiéndose en su totalidad.



Figura 5-10: Muestra cuarteada y con tendencia a la fractura

e) Clasificación de Suelos

▪ Clasificación de Suelos SUCS

Una vez obtenidos los resultados tanto de Granulometría como de Límite Plástico y Límite Líquido, se puede Clasificar todas las muestras usando la Clasificación SUCS, este procedimiento se detalla a continuación:

- Calicata C-1: se tomaran los datos de porcentajes pasantes y retenidos del Tamiz N°200 y N°4, es así como, en la presente muestra, se tiene que el pasante de la N°200 es de 4.83%, por lo que entra en el Grupo

de Suelos de Partículas Gruesas, luego el pasante de la malla N°4 es de 86.74%, es decir, entra en el segundo subgrupo de la tabla “Arenas”, ahora recordando que el porcentaje que pasa la malla N°200 es de 4.83%, es menos del 5%, por lo que se realizara el cálculo del Coeficiente de Uniformidad “Cu” y Coeficiente de Curvatura “Cc” los cuales son $Cu = 6.48$ y $Cc = 0.593$; por lo que se concluye que el material es un **SW “Arena Bien Graduada”**.

- Calicata C-2: se tomaran los datos de porcentajes pasantes y retenidos del Tamiz N°200 y N°4, es así como, en la presente muestra, se tiene que el pasante de la N°200 es de 6.40%, por lo que entra en el Grupo de Suelos de Partículas Gruesas, luego el pasante de la malla N°4 es de 86.11%, es decir, entra en el segundo subgrupo de la tabla “Arenas”, ahora recordando que el porcentaje que pasa la malla N°200 es de 6.40%, esta entre el 5 y 12%, por lo que se realizara el cálculo del Coeficiente de Uniformidad “Cu” y Coeficiente de Curvatura “Cc”, los cuales son $Cu = 6.60$ y $Cc = 0.733$, así mismo ya que no tienen plasticidad y cumple con los criterios para SM, se concluye que el material es un **SW-SM “Arena Bien Graduada con limo”**.
- Calicata C-3: se tomaran los datos de porcentajes pasantes y retenidos del Tamiz N°200 y N°4, es así como, en la presente muestra, se tiene que el pasante de la N°200 es de 0.57%, por lo que entra en el Grupo

de Suelos de Partículas Gruesas, luego el pasante de la malla N°4 es de 81.33%, es decir, entra en el segundo subgrupo de la tabla “Arenas”, ahora recordando que el porcentaje que pasa la malla N°200 es de 0.57%, es menos del 5%, por lo que se realizara el cálculo del Coeficiente de Uniformidad “Cu” y Coeficiente de Curvatura “Cc”, los cuales son $Cu = 11.25$ y $Cc = 0.672$; por lo que se concluye que el material es un **SW “Arena Bien Graduada”**.

- Calicata C-4: se tomaran los datos de porcentajes pasantes y retenidos del Tamiz N°200 y N°4, es así como, en la presente muestra, se tiene que el pasante de la N°200 es de 6.72%, por lo que entra en el Grupo de Suelos de Partículas Gruesas, luego el pasante de la malla N°4 es de 79.79%, es decir, entra en el segundo subgrupo de la tabla “Arenas”, ahora recordando que el porcentaje que pasa la malla N°200 es de 6.72%, esta entre el 5 y 12%, por lo que se realizara el cálculo del Coeficiente de Uniformidad “Cu” y Coeficiente de Curvatura “Cc”, los cuales son $Cu = 11.053$ y $Cc = 0.602$, así mismo ya que no tienen plasticidad cumple con los criterios para SM, se concluye que el material es un **SW “Arena Bien Graduada con limo”**.

▪ Clasificación De Suelos AASHTO

Así también, con los resultados tanto de Granulometría como de Límite Plástico y Límite Líquido, se puede Clasificar todas las muestras usando la Clasificación AASHTO, este procedimiento se detalla a continuación:

- Calicata C-1: se tomaran los datos de porcentajes pasantes del Tamiz N°10, N°40 y N°200, es así como, en la presente muestra, se tiene 76.58%, 45.10% y 4.83% de pasante acumulado respectivamente, además de que no presenta Límite Plástico ni Límite Líquido, es decir, pertenece a un **A-1-b Cantos, Grava y Arena** (máximo 50% del pasante del tamiz N°40 y máximo 25% del pasante del tamiz N°200).
- Calicata C-2: se tomaran los datos de porcentajes pasantes del Tamiz N°10, N°40 y N°200, es así como, en la presente muestra, se tiene 75.40%, 50.80% y 6.40% de pasante acumulado respectivamente, además de que no presenta Límite Plástico ni Límite Líquido, es decir, pertenece a un **A-3 Arena Fina** (mínimo 51% del pasante del tamiz N°40 y máximo 10% del pasante del tamiz N°200).
- Calicata C-3: se tomaran los datos de porcentajes pasantes del Tamiz N°10, N°40 y N°200, es así como, en la presente muestra, se tiene 62.66%, 29.42% y 0.57% de pasante acumulado respectivamente, además

de que no presenta Limite Plástico ni Limite Líquido, es decir, pertenece a un **A-1-b Cantos, Grava y Arena** (máximo 50% del pasante del tamiz N°40 y máximo 25% del pasante del tamiz N°200).

- Calicata C-4: se tomarán los datos de porcentajes pasantes del Tamiz N°10, N°40 y N°200, es así como, en la presente muestra, se tiene 69.19%, 43.43% y 6.72% de pasante acumulado respectivamente, además de que no presenta Limite Plástico ni Limite Líquido, es decir, pertenece a un **A-1-b Cantos, Grava y Arena** (máximo 50% del pasante del tamiz N°40 y máximo 25% del pasante del tamiz N°200).

f) Ensayo de PROCTOR

Para el ensayo de Proctor, se debe conocer los datos resultantes del ensayo de Granulometría, específicamente los porcentajes retenidos acumulados de las mallas N°4, 3/8" y 3/4", con la finalidad de poder asignar un tipo de Proctor, ya sea tipo A, Tipo B o Tipo C, tal y como se explica en la parte teórica.

De tal manera, es que se expresan a continuación los resultados del ensayo de granulometría para cada Calicata.

- **Calicata C-1:** 3.36% retenido en la malla 3/4", 7.36% retenido en la malla 3/8" y 13.26% retenido en la malla N°4

- **Calicata C-2:** 4.75% retenido en la malla 3/4", 8.45% retenido en la malla 3/8" y 13.89% retenido en la malla N°4
- **Calicata C-3:** 3.62% retenido en la malla 3/4", 9.44% retenido en la malla 3/8" y 18.67% retenido en la malla N°4
- **Calicata C-4:** 6.30% retenido en la malla 3/4", 12.23% retenido en la malla 3/8" y 20.21% retenido en la malla N°4

Observando los resultados del ensayo Granulométrico, es que podemos determinar que se ensayaron el Tipo de Proctor “A” para las calicatas C-1, C-2 y C-3, mientras que para la Calicata C-4 se ensayara el Proctor Tipo “B”.

Seguidamente, tomaremos las muestras de cada calicata, respetando lo que dicta cada método; siendo así, se tomaran aproximadamente 9.00 kilogramos para las cuatro calicatas, repartidas en 3.00 kilogramos para cada muestra. Para los Proctor Tipo “A”, la muestra serán los pasante a la malla N°4, mientras que para el Tipo B, se tomaran los pasantes a la malla de 3/8”.

Luego de obtener las muestras representativas, tres por cada calicata, se les añadirá agua en contenidos razonables aproximados, a continuación se mostrara el procedimiento seguido para cada calicata:

- **Calicata C-1:** s tiene una muestra de 3000 gramos, a la cual se le añadirá contenidos de agua aproximados para 3 puntos, para 10% de agua o 300 mililitros, 12% de agua o 360 mililitros y 14% de agua o 420 mililitros.



Figura 5-11: Cantidad de agua a añadir y mezclar con la muestra

Una vez añadidas las cantidades de agua referenciales, se las dejara saturar un mínimo de dos (02) horas y seguidamente se colocara la Muestra en el molde, a cinco (05) capas de 25 Golpes con el martillo a cada capa, para su compactación.

Figura 5-12



Figura 5-13: molde Proctor e instrumentos



Figura 5-14: Compactación por capas de la muestra saturada en el molde

Una vez compactada la muestra, se la pesa, primeramente con el molde para calcular su peso específico húmedo, seguidamente se colocara una muestra de aproximadamente 500 gramos en una tara, para su posterior secado con la finalidad de calcular su peso específico seco y su contenido de humedad.



Figura 5-15: Molde Compactado, enrasado y pesado



Figura 5-16: Muestra antes de secado para obtener contenido de humedad

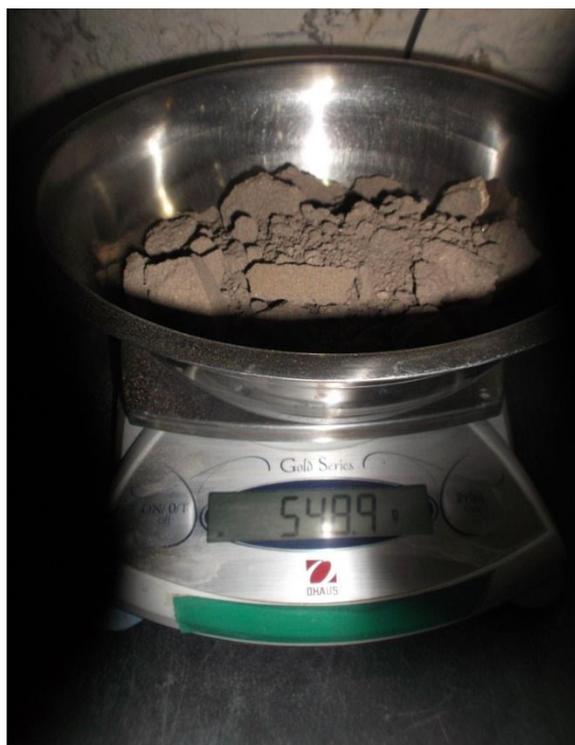


Figura 5-17: muestra secada y obtención del contenido de humedad

Los resultados se detallaran en los anexos del presente estudio de investigación, pero en resumen es:

- Densidad Seca Máxima: 1.870 gramos/centímetro cubico
 - Humedad Optima: 11.30 %
- **Calicata C-2:** Se empleara el ensayo de Proctor Modificado Tipo A, ya que, según ensayo granulométrico, se tiene 4.75% retenido en la malla 3/4", 8.45% retenido en la malla 3/8" y 13.89% retenido en la malla N°4. Así como se realizó el procedimiento para la primera calicata, se realizó el mezclado con agua para las segundas muestras, añadiendo cantidades proporcionales de agua.



Figura 5-18: Cantidad de agua a agregar a la muestra

Una vez añadidas las cantidades de agua referencial y mezclada hasta quedar homogéneas, se las dejara saturar un mínimo de dos (02) horas y seguidamente se colocara la Muestra en el molde, a cinco (05) capas de 25 Golpes con el martillo a cada capa, para su compactación. Una vez compactada la muestra y conocidos los datos del molde, como son peso y volumen, se pesara la muestra para calcular su peso específico húmedo, seguidamente se colocara una muestra de aproximadamente 500 gramos en una tara, para su posterior secado con la finalidad de calcular su peso específico seco y su contenido de humedad.



Figura 5-19: pesado de la muestra compactada

Los resultados se detallaran en los anexos del presente estudio de investigación, pero en resumen es:

- Densidad Seca Máxima: 1.815 gramos/centímetro cubico
 - Humedad Optima: 10.40 %
- **Calicata C-3:** Se empleara el ensayo de Proctor Modificado Tipo A, ya que, según ensayo granulométrico, se tiene 3.62% retenido en la malla 3/4", 9.44% retenido en la malla 3/8" y 18.67% retenido en la malla N°4. Así como se realizó el procedimiento para las anteriores calicatas, se realizó el mezclado con agua para las segundas muestras, añadiendo cantidades proporcionales de agua.



Figura 5-20: Cantidad de agua a agregar

Y nuevamente, añadidas las cantidades de agua referencial y mezclada hasta quedar homogéneas, se las dejara saturar un

mínimo de dos (02) horas y seguidamente se colocara la Muestra en el molde, a cinco (05) capas de 25 Golpes con el martillo a cada capa, para su compactación. Una vez compactada la muestra y conocidos los datos del molde, como son peso y volumen, se pesara la muestra para calcular su peso específico húmedo, seguidamente se extraerá una muestra de aproximadamente 500 gramos en una tara, para su posterior secado con la finalidad de calcular su peso específico seco y su contenido de humedad.

Los resultados se detallaran en los anexos del presente estudio de investigación, pero en resumen es:

- Densidad Seca Máxima: 1.903 gramos/centímetro cubico
- Humedad Optima: 10.80 %

- **Calicata C-4:** 6.30% retenido en la malla 3/4", 12.23% retenido en la malla 3/8" y 20.21% retenido en la malla N°4. Siguiendo los pasos conocidos y realizados en las anteriores calicatas, se añadirá agua en cantidades proporcionales y referenciales para humedecerla, seguidamente se realizara el mezclado para que quede homogénea y se la coloca en el molde de compactación a 5 capas, de 25 golpes cada una, seguidamente se tomara el peso de la muestra con el molde para cada proctor, tanto para hallar la densidad húmeda, el contenido de humedad y la densidad seca de cada ensayo.



Figura 5-21: Pesado de Muestra compactada

Los resultados se detallaran en los anexos del presente estudio de investigación, pero en resumen es:

- Densidad Seca Máxima: 1.928 gramos/centímetro cubico
- Humedad Optima: 10.10 %

g) Ensayo de California Beating Ratio

Para realizar el ensayo de CBR al suelo, se determina primeramente el contenido óptimo de humedad y la densidad seca máxima, es decir, los datos obtenidos en el ensayo de Proctor Modificado, de los cuales se puede decir:

Calicata	Contenido Optimo de Humedad	Densidad Seca Máxima
Calicata “C-1”	11.30 %	1.870 gr/cm ³
Calicata “C-2”	10.40 %	1.815 gr/cm ³
Calicata “C-3”	10.80 %	1.903 gr/cm ³
Calicata “C-4”	10.10 %	1.928 gr/cm ³

De la tabla anterior, se puede apreciar, que el suelo más desfavorable, es el que cuenta con la menor densidad seca, es decir, el suelo de la Calicata “C-2”, motivo por el cual se realizara el ensayo de CBR para dicha muestra, tanto para el suelo normal, como para el suelo con la adición del polímero.

Como dicta la teoría, se prepara la muestra a ensayar; primeramente se realiza el tamizado de la muestra por la malla N°4 y se usara el

material pasante de dicha malla y obtener aproximadamente 6 kilogramos de muestra, este paso se realizara 3 veces, con la finalidad de ensayar la muestra a 12 golpes, 25 golpes y 56 golpes del martillo. Además de extraer aproximadamente 500 de toda la muestra a ensayar, con la finalidad de obtener el contenido de humedad que estas poseen. Se procede a secar la muestra y determinar el contenido de humedad de la muestra total, el cual fue 1.39 %, siendo así se procede a aumentar el contenido faltante para hallar el contenido óptimo de humedad, el cual es 10.40 %, hallando así que falta 9.01%, es decir, que para la muestra de 6000 gramos se le deberá añadir 540.6 mililitros de agua para cada muestra.

Una vez determinada la cantidad de agua a añadir, se mezcla el material y se lo deja saturar como mínimo 02 horas. Una vez pasado el tiempo de saturación, se procede a llenar los moldes para los ensayos, estos medidos y pesados respectivamente.

Primeramente se coloca de forma centrada la Base Metálica antes de colocar el molde sobre la plataforma metálica, quedando armada para colocar la muestra, de manera similar a lo realizado en el Ensayo de Proctor, en la siguiente imagen se muestran los elementos mencionados con anterioridad.



Figura 5-22: Equipo a Usar en el Ensayo CBR

Se coloca la muestra en 5 capas de 12, 25 y 56 golpes del martillo por cada capa, similar al Ensayo de Proctor; acto seguido se procede a quitar el collarín y enrasar la muestra. Una vez enrasada se procede a voltear el molde con la finalidad de quitar la Base Metálica, seguidamente se colocara el papel filtro en la parte superior e inferior del molde y se medirá el peso de este.



Figura 5-23: peso de la muestra compactada a la humedad óptima

Una vez que se tenga ensayado los tres moldes, se procede a colocar los pesos respectivos con el soporte en cada molde y se sumerge en un recipiente con agua fría por aproximadamente 72 horas.

Así mismo se colocara el trípode con el manómetro sobre el molde antes de sumergirlo con la finalidad de medir el hinchamiento que pueda producirse. Seguidamente se sumerge en agua limpia los tres moldes.



Figura 5-24: colocación de las pesas en el molde

Se tomarán las medidas del manómetro para obtener el hinchamiento de la muestra, estas serán pasadas las 24, 48 y 72 horas luego de sumergirlas, estas se expresarán en milímetros respecto al cero inicial.



Figura 5-25: colocación y medición inicial de la expansión

Pasadas las 72 horas, se procede a colocar la muestra en la maquina CBR para medir el esfuerzo para producir la penetración del pisón en un tiempo determinado. Esto se controla mediante el timón, de manera tal que, la penetración en 30 segundos sea de 0.025 milímetros, es decir una pulgada. Se repite el mismo paso para un minuto, minuto y medio, dos minutos, tres minutos y cuatro minutos.

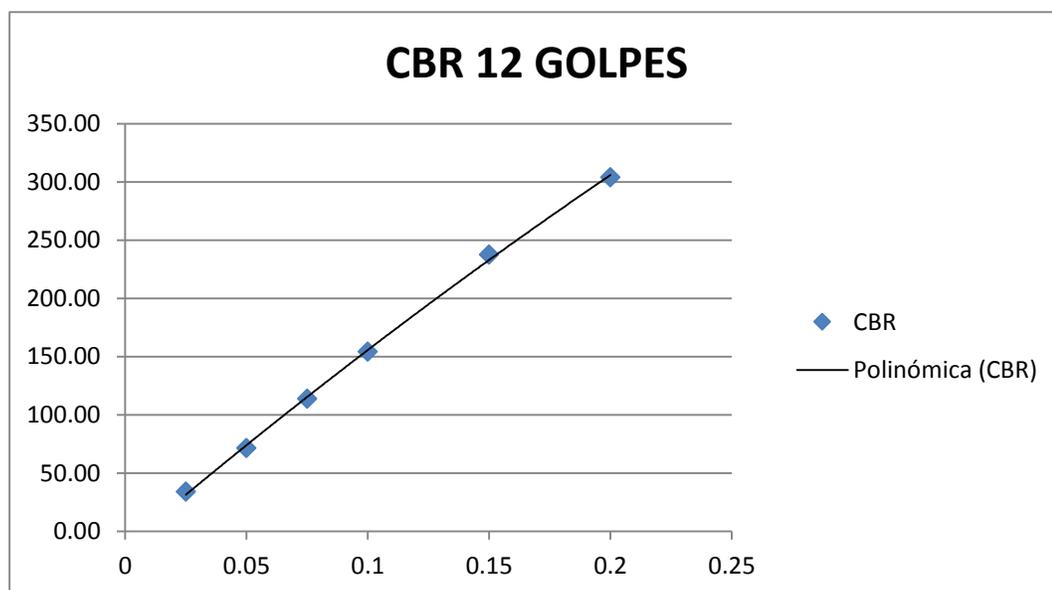


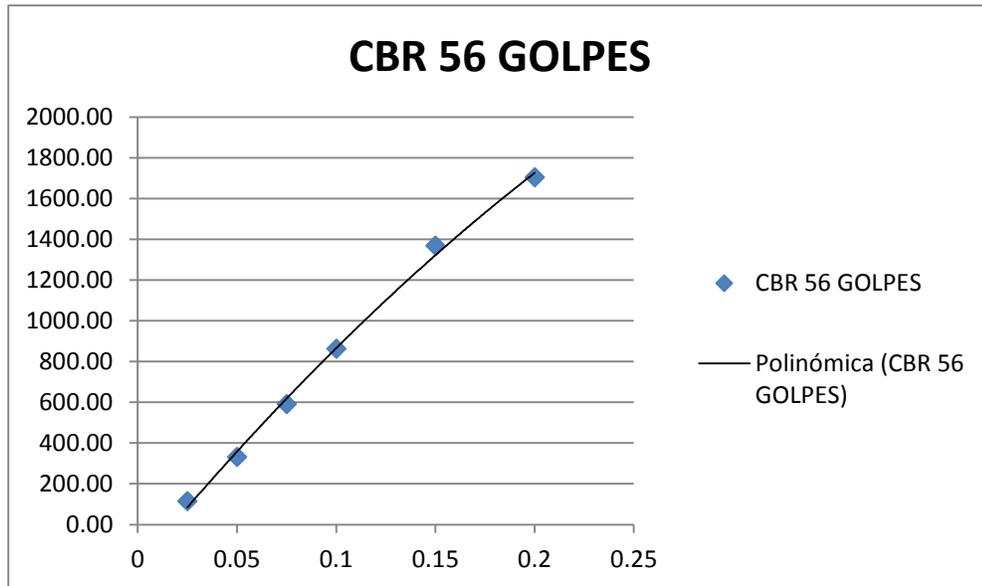
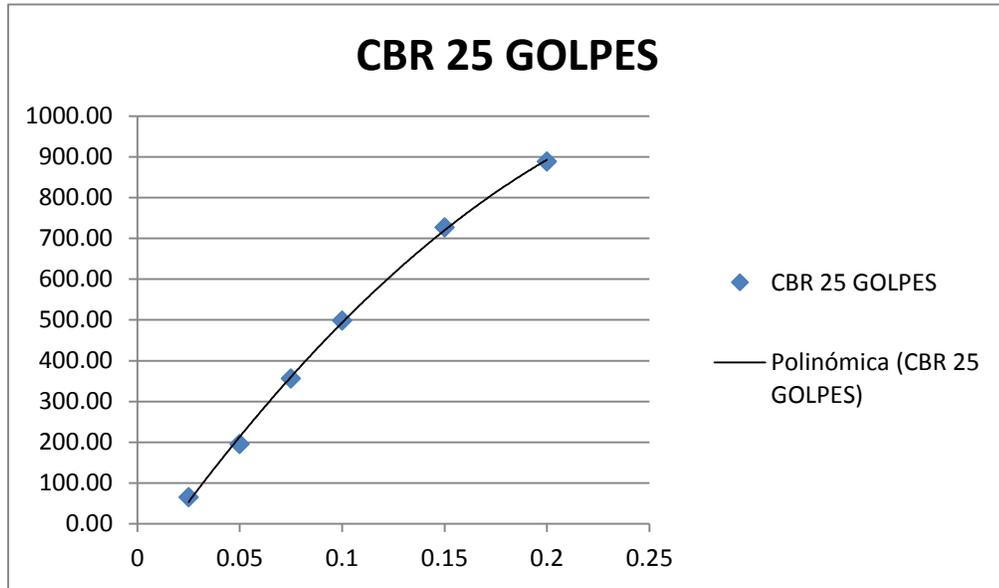
Figura 5-26: colocado de la muestra luego de sumergirla por 72 horas en la maquina CBR

Se ensayan los tres moldes sumergidos para hallar el esfuerzo que produce el pisón para la penetración indicada en un determinado tiempo. A continuación se muestran los resultados de dicho ensayo.

TABLA DE DATOS PARA ENSAYO CBR										
		12 GOLPES			25 GOLPES			56 GOLPES		
PENETRACIÓN	TIEMPO	CARGA		ESFUERZO	CARGA		ESFUERZO	CARGA		ESFUERZO
pulg.	seg.	Kg	Lbs	Lbs/pulg ²	Kg	Lbs	Lbs/pulg ²	Kg	Lbs	Lbs/pulg ²
0.025	30	46.3	102.07	34.02	89.2	196.65	65.55	156.1	344.14	114.71
0.05	60	97.3	214.51	71.50	267	588.63	196.21	451	994.27	331.42
0.075	90	154.9	341.49	113.83	485	1069.23	356.41	804.2	1772.94	590.98
0.1	120	210	462.97	154.32	679.2	1497.36	499.12	1173.1	2586.22	862.07
0.15	180	323.3	712.75	237.58	989.6	2181.67	727.22	1862.5	4106.07	1368.69
0.2	240	413.6	911.82	303.94	1209.6	2666.68	888.89	2320	5114.67	1704.89

De dicha tabla podemos obtener la gráfica en la que se representan los datos de penetración del pisón en el eje “x” y el esfuerzo en el eje “y” que el pisón debió realizar para alcanzarlo.





Y del mismo se puede realizar la siguiente tabla, correspondiente al cálculo del porcentaje CBR y la expansión de la muestra ensayada expresada tanto en milímetros como en porcentaje respecto a la altura de la muestra.

MUESTRA DE 12 GOLPES			
Volumen del molde	=	2091.20	cm ³
Peso del molde	=	8649.00	gramos
Peso molde + muestra normal	=	12344.00	gramos
Peso molde + muestra Saturada	=	12709.00	gramos
Peso húmedo	=	636.90	gramos
Peso Seco	=	586.80	gramos
Cont. Humedad	=	8.54	%
Densidad Húmeda	=	1.767	gramos/cm ³
Densidad Seca	=	1.628	gramos/cm³
% CBR 25	=	15.43	%
% CBR 56	=	20.26	%
EXPANSION DE LA MUESTRA			
5 min	=	0.02	mm
10 min	=	0.02	mm
1 DIA	=	0.02	mm
2 DIAS	=	0.02	mm
3 DIAS	=	0.01	mm

TOTAL	=	-0.0079	%
--------------	---	----------------	---

MUESTRA DE 25 GOLPES			
Volumen del molde	=	2096.70	cm3
Peso del molde	=	8626.00	gramos
Peso molde + muestra normal	=	12596.00	gramos
Peso molde + muestra Saturada	=	12815.00	gramos
Peso húmedo	=	610.90	gramos
Peso Seco	=	554.50	gramos
Cont. Humedad	=	10.17	%
Densidad Húmeda	=	1.893	gramos/cm3
Densidad Seca	=	1.719	gramos/cm3
% CBR 25	=	49.91	%
% CBR 56	=	59.26	%
EXPANSION DE LA MUESTRA			
5 min	=	0.02	mm
10 min	=	0.02	mm
1 DIA	=	0.02	mm
2 DIAS	=	0.03	mm
3 DIAS	=	0.025	mm
TOTAL	=	0.0039	%

MUESTRA DE 56 GOLPES

Volumen del molde	=	2099.50	cm3
Peso del molde	=	8721.00	gramos
Peso molde + muestra normal	=	12890.00	gramos
Peso molde + muestra Saturada	=	13025.00	gramos
Peso húmedo	=	608.60	gramos
Peso Seco	=	551.40	gramos
Cont. Humedad	=	10.37	%
Densidad Húmeda	=	1.986	gramos/cm3
Densidad Seca	=	1.799	gramos/cm3
% CBR 25	=	86.21	%
% CBR 56	=	113.66	%
EXPANSION DE LA MUESTRA			
5 min	=	0.01	mm
10 min	=	0.01	mm
1 DIA	=	0	mm
2 DIAS	=	-0.01	mm
3 DIAS	=	-0.01	mm
TOTAL	=	-0.0157	%

Es así como se definen los valores de CBR a 12, 25 y 56 golpes para un determinada densidad seca, con estos datos se realiza la gráfica de obtención del CBR ideal para dicha muestra de suelo.



5.1.2. ENSAYOS AL SUELO CON POLÍMERO

a) Ensayo de California Beating Ratio

Ahora para el uso del Polímero Acrílico Reticulado, se realizara el Ensayo de CBR, para lo cual, se tomara se tomaran los pasos indicados en la teoría, con la diferencia de usar la mezcla del producto con el agua para el Optimo Contenido de Humedad.

Primeramente se obtiene la humedad natural de la muestra, con la finalidad de obtener el contenido de humedad a aumentar para alcanzar el óptimo contenido de humedad, dato obtenido en el Ensayo de Proctor; se tomaran aproximadamente 500 gramos de muestra y se halla que la humedad de la muestra es de 0.569% y para llegar al óptimo de humedad se necesita añadir 9.831%, es decir, para 6000 gramos sean 589.86 mililitros.

De los datos proporcionados por el proveedor, se determina que la proporción para colocar el polímero es de 4.00 litros por cada metro cubico, este paso se realizara nuevamente hasta alcanzar el Contenido Optimo de Humedad. Así mismo se tomara la proporción para diluir el líquido en 4 partes de agua por 1 de polímero.

Para obtener la cantidad de polímero, se debe determinar primeramente el volumen de muestra a ensayar, para lo cual se usara la fórmula de Densidad, la cual es masa entre volumen. Se tomara la densidad natural del suelo, que es de 1.815 gramos por centímetro cubico, la masa de la muestra a ensayar será de 6000 gramos; haciendo el cálculo se obtiene la volumen de 3305.79 centímetros cúbicos, es decir 0.0033 metros cúbicos.

Con el dato del volumen a ensayar, se determina la cantidad de polímero a usar, el cual será de 0.013 litros, es decir 13 mililitros de polímero. Para diluir el polímero se usara 4 partes, es decir 52 mililitros de agua, en total serán 65 mililitros de líquido,

Para alcanzar el Optimo Contenido de Humedad, son necesarios 589.86 mililitros de agua, es decir que la operación para alcanzar el

óptimo con la dosificación especificada se tiene que repetir por 9.07 veces. Por lo antes expuesto, se puede deducir que se deben usar 117.91 mililitros de Polímero y 471.64 mililitros de agua, sumados dan 589.86 mililitros de líquido.

Una vez obtenido la cantidad de polímero y agua, se procede a mezclarlos y verterlos sobre la muestra de suelo, tal y como se procede en este ensayo, una vez mezclado se dejara saturar como mínimo por dos horas. Este paso se repetirá para las 3 muestras de suelo.



Figura 5-27: mezclado del polímero con el agua según dosificación



Figura 5-28: mezclado del líquido estabilizador

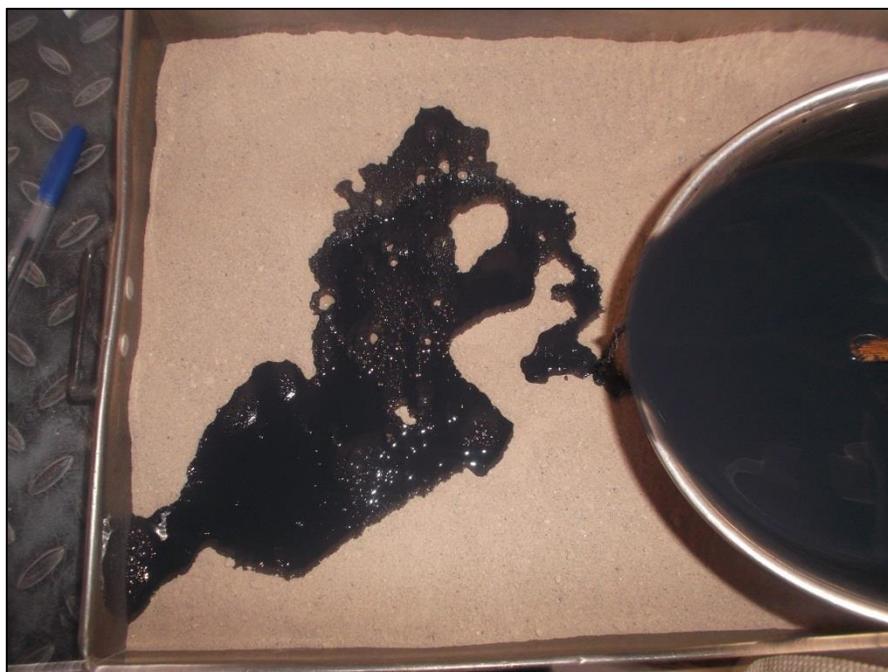


Figura 5-29: adición del estabilizador al suelo



Figura 5-30: Mezclado continuo de todo el líquido estabilizador



Figura 5-31: suelo con estabilizador



Figura 5-32: almacenaje de muestra para saturación y posterior ensayo

Una vez saturado el suelo con la adición del polímero, se realizara la compactación por capas para realizar el ensayo. Tanto para 12, 25 y 56 golpes por capa en el molde de compactación. Una vez compactado se realizara el pesado del mismo, luego la colocación del papel filtro y las pesas sobre la muestra para su posterior sumergido en agua. Antes del sumergido se realizara la colocación de los trípodes con los manómetros para medir la expansión de las muestras. Una vez colocados los trípodes con sus manómetros, se toma la medición de expansión inicial, y se va tomando para los periodos de 5 minutos, 10 minutos, 1 hora, un día, dos días y tres días. Posteriormente se calculara la expansión, siendo esta un porcentaje de la altura total de la muestra



Figura 5-33: muestra con estabilizador para ensayar en el molde



Figura 5-34: pesado de muestra compactada



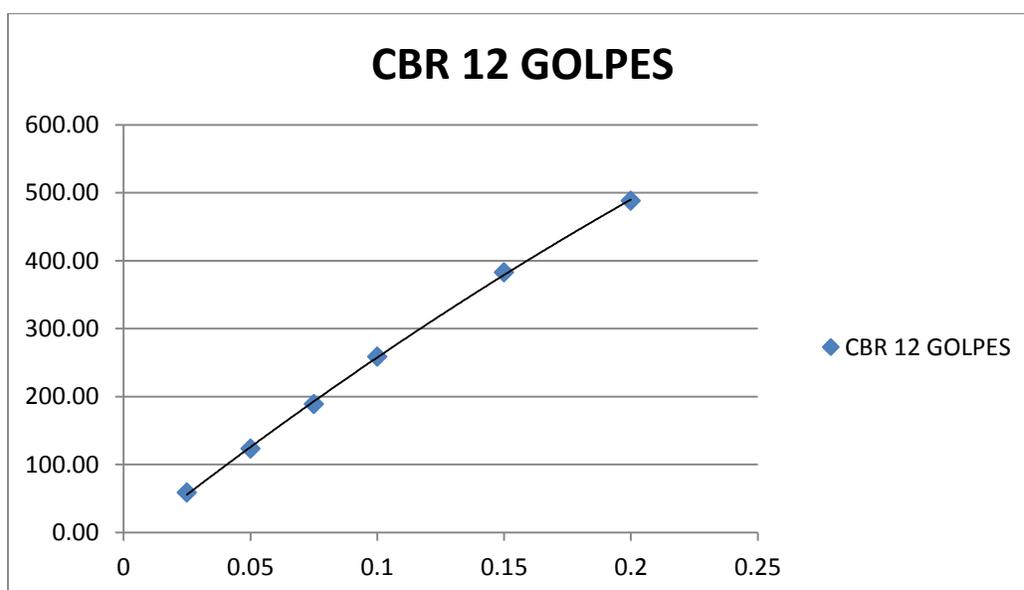
Figura 5-35: toma de lectura de expansión

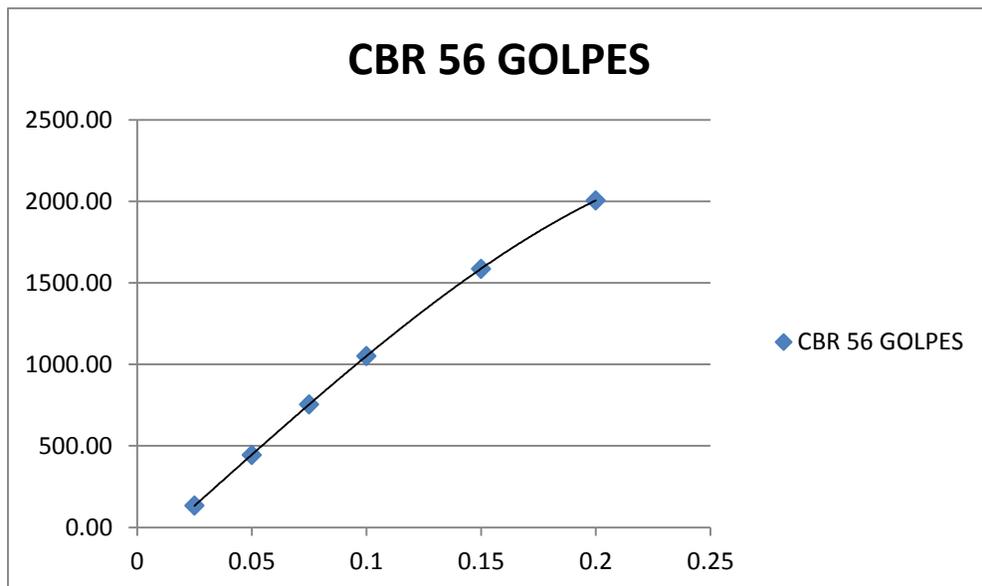
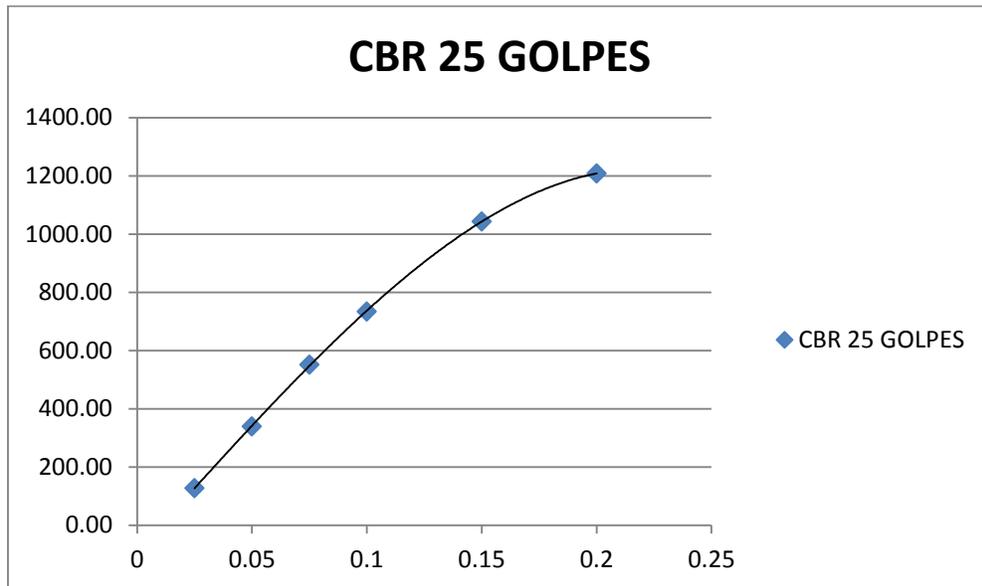
Una vez pasados los tres días de sumergida la muestra, se procede a retirarla, escurrir el agua que se encuentra por encima de las pesas teniendo cuidado de no mover las pesas y que pierda contacto con la muestra; se la deja así por 15 minutos aproximadamente y se procede a ensayarla, se retiran las pesas, se toma el peso de la muestra sumergida y se la coloca en la maquina CBR.

Posteriormente colocada la muestra en la máquina, se la calibra esta para poder medir el esfuerzo utilizado para llegar a las penetraciones del pisón en los tiempos estipulados, de tal manera que se obtienen los siguientes resultados:

		12 GOLPES			25 GOLPES			56 GOLPES		
PENETRACIÓN	TIEMPO	CARGA		ESFUERZO	CARGA		ESFUERZO	CARGA		ESFUERZO
pulg.	seg.	Kg	Lbs	Lbs/pulg ²	Kg	Lbs	Lbs/pulg ²	Kg	Lbs	Lbs/pulg ²
0.025	30	79.9	176.15	58.72	173	381.40	127.13	181	399.03	133.01
0.05	60	167.9	370.15	123.38	462.3	1019.19	339.73	604.2	1332.02	444.01
0.075	90	257.5	567.68	189.23	750.1	1653.67	551.22	1027.5	2265.23	755.08
0.1	120	352.1	776.24	258.75	998.2	2200.63	733.54	1430.8	3154.34	1051.45
0.15	180	521	1148.60	382.87	1420.3	3131.19	1043.73	2159	4759.73	1586.58
0.2	240	664.4	1464.74	488.25	1644	3624.36	1208.12	2729.5	6017.46	2005.82

De dicha tabla podemos obtener la gráfica en la que se representan los datos de penetración del pisón en el eje “x” y el esfuerzo en el eje “y” que el pisón debió realizar para alcanzarlo.





Y del mismo se puede realizar la siguiente tabla, correspondiente al cálculo del porcentaje CBR y la expansión de la muestra ensayada expresada tanto en milímetros como en porcentaje respecto a la altura de la muestra.

MUESTRA DE 12 GOLPES			
Volumen del molde	=	2091.20	cm3
Peso del molde	=	8649.00	gramos
Peso molde + muestra normal	=	12565.00	gramos
Peso molde + muestra Saturada	=	12830.00	gramos
Peso húmedo	=	570.50	gramos
Peso Seco	=	517.60	gramos
Cont. Humedad	=	10.22	%
Densidad Húmeda	=	1.873	gramos/cm3
Densidad Seca	=	1.699	gramos/cm3
% CBR 25	=	25.87	%
% CBR 56	=	32.55	%
EXPANSION DE LA MUESTRA			
5 min	=	0	mm
10 min	=	0.005	mm
1 DIA	=	0.01	mm
2 DIAS	=	0.01	mm
3 DIAS	=	0.01	mm
TOTAL	=	0.0079	%

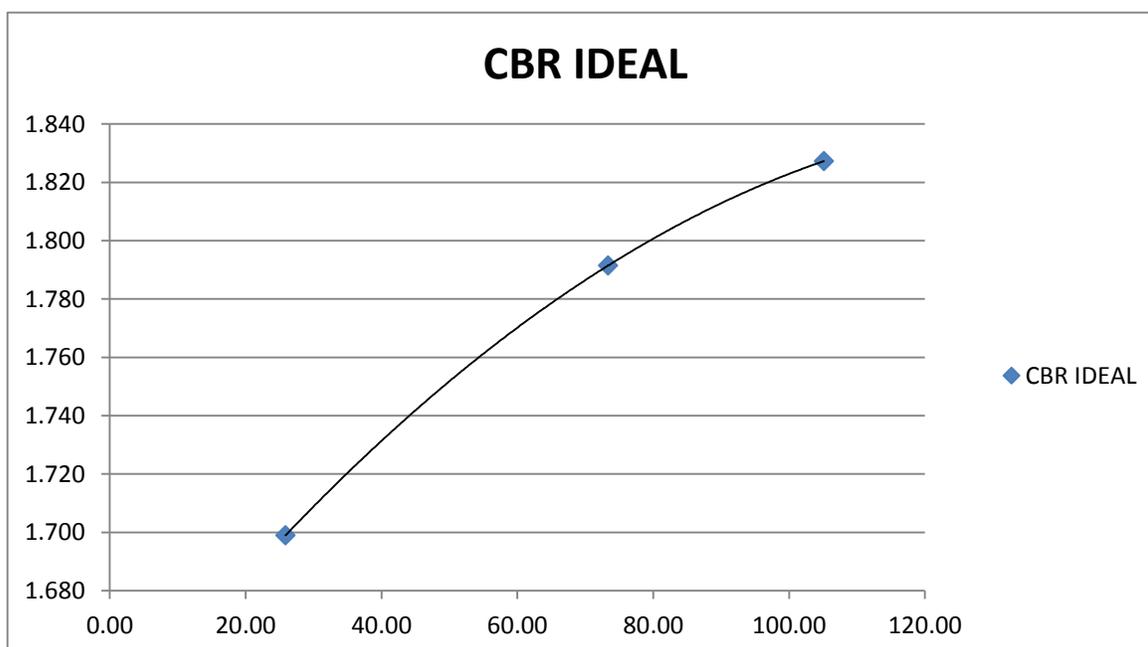
MUESTRA DE 25 GOLPES			
Volumen del molde	=	2096.70	cm3
Peso del molde	=	8626.00	gramos

Peso molde + muestra normal	=	12771.00	gramos
Peso molde + muestra Saturada	=	12959.00	gramos
Peso húmedo	=	581.00	gramos
Peso Seco	=	526.50	gramos
Cont. Humedad	=	10.35	%
Densidad Húmeda	=	1.977	gramos/cm ³
Densidad Seca	=	1.791	gramos/cm ³
% CBR 25	=	73.35	%
% CBR 56	=	80.54	%
EXPANSION DE LA MUESTRA			
5 min	=	0	mm
10 min	=	0.005	mm
1 DIA	=	0.008	mm
2 DIAS	=	0.01	mm
3 DIAS	=	0.01	mm
TOTAL	=	0.0079	%

MUESTRA DE 56 GOLPES			
Volumen del molde	=	2099.50	cm ³
Peso del molde	=	8721.00	gramos
Peso molde + muestra normal	=	12963.00	gramos
Peso molde + muestra Saturada	=	13095.00	gramos
Peso húmedo	=	601.40	gramos
Peso Seco	=	543.90	gramos
Cont. Humedad	=	10.57	%

Densidad Húmeda	=	2.020	gramos/cm3
Densidad Seca	=	1.827	gramos/cm3
% CBR 25	=	105.14	%
% CBR 56	=	133.72	%
EXPANSION DE LA MUESTRA			
5 min	=	0	mm
10 min	=	0.005	mm
1 DIA	=	0.01	mm
2 DIAS	=	0.01	mm
3 DIAS	=	0.01	mm
TOTAL	=	0.0079	%

Es así como se definen los valores de CBR a 12, 25 y 56 golpes para una determinada densidad seca, con estos datos se realiza la gráfica de obtención del CBR ideal para dicha muestra de suelo.



Con esto concluye el ensayo, tomando así también el CBR idea de la muestra adicionada con polímero, el cual da como resultado un CBR de

5.1.3. INTERPRETACION DE RESULTADOS DE ENSAYOS RESPECTO AL METODO DE DISEÑO

Por lo antes expuesto en el capítulo de determinación del método de diseño de dicho pavimento, es que se realizara la aplicación y el cálculo del espesor de capa para las diferentes alternativas, tanto el suelo sin tratamiento y con la capacidad de soporte que posee actualmente; así como también en el suelo tratado con el polímero acrílico reticulado, para lo se detallaran los datos que se necesitan para aplicar el método NAASRA para dicho pavimento:

- a) Numero de Ejes Equivalentes de la vía:** este punto fue hallado con un estudio de tráfico en ambas vías, Carretera Arequipa – Yura y Avenida Las Torres, así como también con un estudio estadístico basado en encuestas para hallar el transito atraído con la alternativa de mejorar la Avenida Las Torres; dando como **resultado un numero de Ejes Equivalentes de 62,371.21 EE.**

- b) Capacidad de Soporte (CBR):** en base a los ensayos realizados en el laboratorio, se han determinado la capacidad de soporte mínima de entre todos los sondeos (calicatas), tanto para el suelo sin tratar, el cual tiene una capacidad de soporte de 86%, como para el suelo tratado con el polímero acrílico reticulado, siendo su capacidad de soporte del 94%.

Con ambos datos, la capacidad de soporte y el número de ejes equivalentes resultante del estudio de tráfico, es que obtendremos el diseño del pavimento, específicamente el espesor de capa de afirmado según el método NAASRA, el cual aplicando la fórmula, da como resultado lo siguiente:

DISEÑO DEL PAVIMENTO A NIVEL DE AFIRMADO USANDO EL METODO NAASRA

$$e = [219 - 211 * (\log_{10} CBR) + 58 * (\log_{10} CBR)^2] * \log\left(\frac{EE}{120}\right)$$

e = 75.6984269 mm
CBR = 86 %
EE = 62371.21 Ejes Equivalentes

e = 150 mm

Para el Suelo Normal

DISEÑO DEL PAVIMENTO A NIVEL DE AFIRMADO USANDO EL METODO NAASRA

$$e = [219 - 211 * (\log_{10} CBR) + 58 * (\log_{10} CBR)^2] * \log\left(\frac{EE}{120}\right)$$

e = 77.3394609 mm
CBR = 94 %
EE = 62371.21 Ejes Equivalentes

e = 150 mm

Para el Suelo con Polímero

Se puede denotar que el suelo es muy bueno para utilizar el método de estabilización ya que, los valores de CBR de estos son muy cercanos y están por encima del promedio. Siendo así, el factor determinante para usarlo o no, es la superficie de capa de rodadura con la cual se tendría el control de polvo y a su vez la superficie estabilizada que atraería el tráfico en un aspecto más social.

Por lo tanto se puede concluir que el espesor de la capa estructural del pavimento conformado por la sub rasante con la adición del polímero acrílico reticulado será de 150 mm.

5.2. ANÁLISIS MEDIO AMBIENTAL Y DE SOSTENIBILIDAD

5.2.1. ANÁLISIS DE COMPONENTES MEDIO AMBIENTALES CON LA APLICACIÓN DEL POLÍMERO

Para el análisis medio ambiental, es que se tomaran en cuenta todos los componentes que influyen en la construcción y operación de la vía pavimentada con la utilización del polímero acrílico reticulado, para lo cual utilizaremos el método de la Matriz de Leopold, incluyendo la descripción de cada factor o componente y su influencia, ya sea positiva o negativa sobre el medio que rodea.

1.1.1.1. Componentes del Medio

- **Características Físicas y Químicas**

1.1.2. Extracción de recursos: para la aplicación del polímero acrílico reticulado, se utilizara el material

encontrado in situ, es decir, no se dará la extracción de recursos.

1.1.3. Agua: es importante resaltar que para la utilización de este recurso, tomando en cuenta que la zona recientemente fue abastecida de dicho recurso y no en su totalidad, es que, será usado para todas las partidas en referencia a la aplicación del polímero.

1.1.4. Atmosfera: en cuanto al aspecto de la calidad del aire, este se verá afectado durante la construcción de la vía con el uso del polímero, ya que se tiene que mezclar el material con dicha sustancia; mas no en la fase de operación, ya que, el polímero servirá para controlar el polvo que expulse la vía, como un sello.

1.1.5. Procesos: en cuanto a los procesos que se vayan a realizar a la vía y que impacten sobre factores como la erosión, compactación y estabilidad de suelos, estos serán positivos, ya que al mejorarse la vía, se mejoran las condiciones físicas del terreno.

▪ **Condiciones Biológicas**

1.1.6. Flora: el cambio en el ambiente y el entorno de la vía asfaltada, afectara considerablemente la flora existente en el lugar, pero puede también mejorarse con la implementación de jardineras a lo largo de la vía, con obras provisionales como son la construcción de bermas con jardineras y espacios con arborización.

1.1.7. Fauna: este aspecto se altera de manera importante, ya que, al mejorarse la vía, la fauna del lugar como la que transita por esta, se verá forzada a recurrir

a otras zonas que no cuenten con el paso de vehículos y el desarrollo como está planteado.

▪ **Factores Culturales**

1.1.8. **Usos del Territorio:** el uso del territorio cambiara en el aspecto de magnitud, ya que, la Avenida Las Torres al estar mejorada, proporcionara mayor comodidad y confort en su uso, siendo así, su uso será más frecuente y con mayor cantidad de vehículos, afectando esto de manera positiva el desarrollo de la zona en aspectos como comercio y demás.

1.1.9. **Recreativos:** en cuanto al aspecto recreativo, este proyecto incluye una Ciclo vía, la cual es un espacio recreativo importante, siendo así, este proporcionara un aspecto positivo al proyecto de manera integral.

1.1.10. **Estéticos y de Interés Humano:** el aspecto social es quizás el mayor inconveniente para la utilización del polímero como alternativa de solución, ya que, al no ser muy conocido y sumado a la costumbre de la población, por entender como pavimentada una vía que contiene asfalto, sin conocer los beneficios y bondades de otras alternativas.

1.1.11. **Nivel Cultural:** el mejoramiento de la vía proporcionara muchos puestos de trabajo durante la etapa de construcción, el uso de la vía y la implementación de nuevas actividades como el comercio

- **Servicios e Infraestructura:** es evidente que el aspecto de servicios mejorara de manera potencial, ya que, al mejorar la vía, se proporcionara comunicación a la zona, corredores y mejor acceso a la zona.

- **Relaciones Ecológicas:** para dicho aspecto no hay mucho que mencionar, solo que si la vía se mejora, esto modificara el habitat existente, pero al tratarse de una zona urbana, este no cambiara de manera resaltante.

b) Actividades de la aplicación del polímero

- **Excavaciones:** en cuanto a la alternativa de mejorar la vía mediante el asfaltado, esta representa un volumen pequeño y casi nulo, ya que si se conserva la topografía del lugar, como es el caso, este no conlleva una cantidad considerable de trabajo.
- **Eliminación de Material proveniente de Excavaciones:** tal y como se evidencia en el punto anterior, el volumen de material a eliminar será menor, ya que, con la aplicación del polímero, se utiliza el mismo material de la zona.
- **Aplicación del polímero acrílico reticulado:** la aplicación del polímero comprende los trabajos de movimiento de tierras, mezclado con el polímero y la compactación de la superficie mejorada.
- **Pintado de superficie mejorada:** el pintado de la superficie mejorada será un trabajo posterior y de acabado, este se realizara con la finalidad de poner en funcionamiento dicha vía y con la señalización adecuada.
- **Limpieza Final:** el último trabajo, que corresponderá a la limpieza de la vía para que entre en funcionamiento, esta comprende no solo la limpieza del eje de la vía sino también zonas adyacentes a este y el retiro de la maquinaria y herramientas que se usaron para su construcción.

c) Matriz de Leopold

A continuación se muestra la Matriz de Leopold armada con los parámetros anteriormente mencionados.

Matriz de Leopold									
Obra	PROYECTO DE TESIS “MEJORAMIENTO DE TRANSITABILIDAD VEHICULAR CON LA UTILIZACION DEL POLIMERO ACRILICO RETICULADO EN LA AVENIDA LAS TORRES DEL DISTRITO DE YURA”								
Alternativa	02 Utilización de Asfalto								
Ubicación	YURA - AREQUIPA - AREQUIPA								
									Fecha: Agosto - 2015
				ACTIVIDADES				POST CONSTRUCCION	
				EXCAVACIONES	ELIMINACION DE MATERIAL PROVENIENTE DE EXCAVACIONES	APLICACIÓN DEL ASFALTO	PINTADO DE SUPERFICIE MEJORADA Y LIMPIEZA FINAL	USO DEL PAVIMENTO	MANTENIMIENTO DEL PAVIMENTO
A. CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y QUÍMICAS	1. SUELO	a.	Tasa de erosión	-5	-2	2	1	5	-2
		b.	Estructura	-5	-1	3	1	5	3
		c.	Fertilidad	-4	-3	-4	1	-2	-1
	2. AGUA	a.	Turbidez	-2	-2	-3	-1	-1	-3
		b.	Toxicidad	-1	-3	-2	-1	-1	-2
	3. ATMOSFERA	a.	Clima (micro, macro)	-2	-2	-4	1	3	-3
		b.	Temperatura	-1	-2	-3	-1	3	-3
	4. AIRE	a.	Calidad de aire	-5	-3	2	-2	4	-3
		b.	Generación de ruido	-5	-3	-5	-1	3	-4
	B. CONDICIONES BIOLÓGICAS	1. FLORA	a.	Estructura	-4	-2	-2	-1	2	-1
b.			Composición del paisaje	-4	-2	-2	-1	3	-1
c.			Habitad	-4	-2	-1	-1	-1	-1
d.			Especies en extinción	-2	-1	-1	-1	-1	-1
2. FAUNA		a.	Variedad de especies	-2	-2	-2	-1	-1	-1
		b.	Habitad	-2	-2	-2	-1	-1	-1
		c.	Especies en extinción	-1	-1	-2	-1	-1	-1
				1	1	1	1	1	1
				1	1	1	1	1	1

C. FACTORES CULTURALES	1. USOS DEL SUELO	a.	Naturaleza y espacios abiertos	-4	-4	-2	-1	3	-4	-4	5	3	3	1	3	3	
		b.	Agricultura	-1	-2	-3	-1	-1	-1	1	1	3	1	1	1	1	1
		c.	Residencial	-1	-4	6	3	5	2	5	5	2	5	5	2	2	2
		d.	Comercial	-3	-4	5	3	7	2	7	-3	2	6	3	3	3	3
	2. ECONOMIA	a.	Generación de empleo	4	3	5	2	5	4	4	3	6	3	3	3	3	3
		b.	Ingresos Propios	-2	-2	-2	-1	4	2	2	2	4	2	2	2	2	2
	3. ESTATUS CULTURAL	a.	Centro histórico	-1	-1	-1	-1	1	1	-1	1	1	1	1	1	1	1
		b.	lugar arqueológico	-1	-1	1	-1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
		c.	modificación de costumbres	-4	-3	5	3	3	3	3	-3	3	3	3	3	3	3

Analizando la Matriz de Leopold, para los impactos encontrados, tanto para intensidad como importancia, se puede detallar por categoría lo siguiente:

- **En cuanto a características físicas y químicas:** el uso de la opción del polímero acrílico reticulado para los elementos que conforman el entorno, los impactos son menores; en las actividades de movimiento de tierras como las excavaciones y la eliminación de desmonte, los aspectos que más resaltan son la estructura del suelo, la calidad del aire y la generación de ruido, los cuales son aspectos normales de dicha actividad. Ha de aclarar que en el aspecto de excavación y escarificación, es solo para la aplicación del polímero, por tanto la actividad de eliminación solo será de piedras grandes, materiales orgánicos y basura.

En cuanto a la aplicación del polímero Acrílico Reticulado, este mejorara la estructura y la tasa de erosión del suelo, haciéndolo más resistente; pero lo más resaltante es el control de polvo que el producto ofrece, al ser una superficie de rodadura y más aun con el sello de polímero que usualmente se le aplica,

mejorando así la transitabilidad y la comodidad, tanto de los vehículos como de los peatones.

Por último la aplicación de la pintura y la señalización de la zona, es un aspecto un tanto relevante desde el punto de vista comparativo, ya que, al aplicarlo sobre la superficie con polímero o la superficie asfaltada, el impacto será prácticamente el mismo, son impactos menores que no afectan de sobre manera a las características físicas y químicas del entorno.

- **En cuanto a condiciones biológicas:** el uso de la opción del polímero acrílico reticulado para las condiciones biológicas que presenta la zona, contiene impactos que se pueden considerar cuantitativamente mínimos; las actividades de movimiento de tierras con respecto a la flora y fauna, es mínima salvo por el uso de maquinaria que exige este tipo de trabajos y que pueda afectar a las plantaciones existentes en la zona, así como también de la fauna que se puede encontrar en la zona, los cuales en su mayoría son animales domésticos. Pero se debe mencionar que la zona es una avenida, que aunque no es muy concurrida, la presencia de vida animal y fauna en el eje de la vía es casi nula. El mismo detalle se ve en la aplicación del polímero acrílico reticulado, siendo la diferencia la limitación que este mejoramiento representaría para la presencia de plantas y animales; cabe resaltar que el presente estudio de investigación nos muestra la vía pavimentada con el polímero, pero no del mejoramiento del entorno, siendo este un aspecto externo a la investigación propiamente dicha, pero que puede ser incluida la plantación de vegetación, grass y árboles. En

cuanto al pintado y la señalización de la zona, este aspecto también pasa prácticamente por alto para los componentes de flora y fauna.

- **En cuanto a los Factores Culturales:** para analizar los factores como usos del suelo, economía y estatus cultural, se debe separar como se hizo en la matriz de las etapas tanto de construcción como de post construcción, y es que para este mejoramiento, será más fácil determinar los impactos positivos y negativos de la misma.

En la etapa de construcción, específicamente en los trabajos de movimiento de tierras, los usos del suelo se ven afectados ya que, al mejorarse la Avenida Las Torres, esta quedara sin utilidad durante su construcción, en todos los aspectos, tanto económicos, sociales y de transporte; pero también se debe mencionar que estos serán en un periodo corto de tiempo, ya que, la aplicación del polímero acrílico Reticulado con el sello del mismo polímero, se puede abrir al tráfico en la mejor de las condiciones en 2 horas aproximadamente, haciendo este mejoramiento muy ventajoso para las necesidades de la población de la zona y los usuarios de la avenida.

En la etapa de post construcción, el mejoramiento de la avenida atraerá tráfico, tal y como se puede denotar en las encuestas realizadas, esto representa un alza a nivel cultural, ya que, beneficiara a los negocios de la zona, aliviará la saturación de tráfico de la Carretera Arequipa – Yura, representara lo ventajoso del mejoramiento y generando mejores condiciones de vida para la población que habita la zona y también los usuarios de la avenida. Para el mantenimiento de la vía, los

aspectos son un poco desfavorables, dependiendo del deterioro en el que se encuentre, por ejemplo si es por la presencia de un “bache”, este se puede solucionar con parchado que consiste en la mezcla y adición del Polímero, el cual no es de mayor implicancia y se puede solucionar de manera rápida; de la misma manera si son tramos muy largos y en numerosos puntos a lo largo de la vía, esta se solucionara mediante la escarificación del terreno, la adición de una nueva cantidad de polímero y un nuevo sello, y como se puede intuir, el tiempo de espera para la apertura al tráfico es muy corto, aspecto importante que no generaría mayor desventaja a los usuarios de la vía y a los vecinos de la zona.

Por lo antes expuesto, se puede decir que los impactos ambientales que se presentan en la aplicación del polímero acrílico reticulado en la avenida Las Torres, son más significativos en la etapa de construcción, pero aun así estos pueden ser controlados y casi imperceptibles por la facilidad del método constructivo que representa el mejoramiento de la vía con esta alternativa.

5.2.2. ANÁLISIS DE COMPOSICIÓN MEDIO AMBIENTALES CON LA APLICACIÓN DEL ASFALTO

Así como en el punto anterior, para el análisis medio ambiental es que se tomaran los componentes que influyen en la construcción y operación de la vía pavimentada con la utilización de una carpeta asfáltica de 2 pulgadas de espesor, base y sub base, para lo cual utilizaremos el método de la Matriz de Leopold, incluyendo la descripción de cada factor o componente y su influencia, ya sea positiva o negativa sobre el medio que rodea.

a) Componentes del Medio

▪ Características Físicas y Químicas

- **Extracción de recursos:** para la aplicación de la carpeta asfáltica, se realizara la extracción de los recursos de la zona, tales como materiales de relleno, agregados y canteras para la obtención del material para base y sub base.
- **Agua:** este recurso es importante de mencionarlo tanto para la ejecución como también el acceso a ella en la zona de Ciudad de Dios, ya que, recientemente se viene abasteciendo de dicho recurso y no se encuentra totalmente disponible en todas las zonas.
- **Atmosfera:** este componente como tal se ve realmente afectado, ya que puede sufrir de alteraciones en cuanto a su composición, ya sea por la existencia de polvo, malos olores y efecto de la temperatura en la misma.
- **Procesos:** este punto, tal y como se narra en la alternativa anterior, se ve impactado de manera positiva, ya que, el suelo será mejorado, y en este caso, cubierto por capas estructurales y una capa de asfalto.

▪ Condiciones Biológicas

- **Flora:** el cambio en el ambiente y el entorno de la vía asfaltada, afectara considerablemente la flora existente en el lugar, pero puede también mejorarse con la implementación de jardineras a lo largo de la vía, con obras provisionales como son la construcción de bermas con jardineras y espacios con arborización.

- **Fauna:** este aspecto se altera de manera importante, ya que, al mejorarse la vía, la fauna del lugar como la que transita por esta, se verá forzada a recurrir a otras zonas que no cuenten con el paso de vehículos y el desarrollo como está planteado.
- **Factores Culturales**
 - **Usos del Territorio:** el uso del territorio cambiara en el aspecto de magnitud, ya que, la Avenida Las Torres al estar mejorada, proporcionara mayor comodidad y confort en su uso, siendo así, su uso será más frecuente y con mayor cantidad de vehículos, afectando esto de manera positiva el desarrollo de la zona en aspectos como comercio y demás.
 - **Recreativos:** en cuanto al aspecto recreativo, este proyecto incluye una Ciclo vía, la cual es un espacio recreativo importante, siendo así, este proporcionara un aspecto positivo al proyecto de manera integral.
 - **Estéticos y de Interés Humano:** en cuanto a ese aspecto, el mejoramiento de la vía proporcionara un paisaje adecuado a la zona ya que no solo será asfaltada, sino también con veredas y bermas que mejoraran el aspecto para los usuarios de la vía y las personas que habiten la zona.
 - **Nivel Cultural:** el mejoramiento de la vía proporcionara muchos puestos de trabajo, el uso de la vía y la implementación de nuevas actividades como el comercio

- **Servicios e Infraestructura:** es evidente que el aspecto de servicios mejorara de manera potencial, ya que, al mejorar la vía, se proporcionara comunicación a la zona, corredores y mejor acceso a la zona.
- **Relaciones Ecológicas:** para dicho aspecto no hay mucho que mencionar, solo que si la vía se mejorar, esto modificara el habitat existente, pero al tratarse de una zona urbana, este no cambiara de manera resaltante.

b) Actividades de la aplicación del asfalto

- **Excavaciones:** en cuanto a la alternativa de mejorar la vía mediante el asfaltado, esta representa un mayor volumen de excavación, respecto a que se tomaran en cuenta las capas de base y sub base.
- **Refine y Nivelación:** al igual que el punto anterior, el refine y nivelación de la vía dependerá de los espesores de las capas estructurales, motivo por el cual, el movimiento de tierras será mayor.
- **Eliminación de Material proveniente de Excavaciones:** evidenciando los puntos anteriores, el volumen de material a eliminar será mayor, por lo tanto, también se incrementan factores como el polvo, uso de agua, mayor cantidad de cuadrillas para dicho trabajo.
- **Imprimación y Asfaltado:** el trabajo de imprimación y asfaltado de la superficie nivelada, comprenderá la instalación de una planta para la preparación del asfalto, así como también protección y señalización por un tiempo determinado de la superficie hasta que esté lista para la apertura al tráfico.

B. CONDICIONES BIOLÓGICAS	1. FLORA	a.	Estructura	-4	-2	-2	-1	2	-1
		b.	Composición del paisaje	-4	-2	-2	-1	3	-1
		c.	Habitad	-4	-2	-1	-1	-1	-1
		d.	Especies en extinción	-2	-1	-1	-1	-1	-1
	2. FAUNA	a.	Variedad de especies	-2	-2	-2	-1	-1	-1
		b.	Habitad	-2	-2	-2	-1	-1	-1
		c.	Especies en extinción	-1	-1	-2	-1	-1	-1
C. FACTORES CULTURALES	1. USOS DEL SUELO	a.	Naturaleza y espacios abiertos	-4	-4	-2	-1	3	-4
		b.	Agricultura	-1	-2	-3	-1	-1	-1
		c.	Residencial	-1	-4	6	3	5	-3
		d.	Comercial	-3	-4	5	3	7	-3
	2. ECONOMÍA	a.	Generación de empleo	4	3	5	2	5	4
		b.	Ingresos Propios	-2	-2	-2	-1	4	2
	3. ESTATUS CULTURAL	a.	Centro histórico	-1	-1	-1	-1	1	-1
		b.	lugar arqueológico	-1	-1	1	-1	1	-1
		c.	modificación de costumbres	-4	-3	5	3	3	-3
				3	3	4	3	3	3

Analizando la Matriz de Leopold, para los impactos encontrados, tanto para intensidad como importancia, se puede detallar por categoría lo siguiente:

- **En cuanto a características físicas y químicas:** el uso de la opción del asfaltado para los elementos que conforman el entorno, los impactos son de mediana envergadura; en las actividades de movimiento de tierras por ejemplo, estas si son un poco resaltantes respecto a que la granulometría del suelo tiene que cumplir para cada una de sus capas estructurales, a pesar de que, como se hizo mención anteriormente, el suelo es muy bueno para la construcción y pavimentación; en la etapa de construcción, se ven afectados mayormente los

características del suelo y del aire, con la calidad del aire y la generación de ruido, estos son especialmente por el trabajo realizado por la maquinaria con la finalidad de obtener la subrasante para la pavimentación. Así mismo también en la eliminación del material que sea necesario eliminar, tales como piedras grandes, materiales orgánicos, basura y suelo que no cumpla con la granulometría que posee cada una de sus capas. En cuanto a la aplicación del Asfaltado, este no tiene mucha afectación respecto al suelo, ya que se trata de una nueva capa, pero si en cuanto a las necesidades de la superficie propiamente dicha, haciéndolo resistente y en el mejor de los casos duraderos; es resaltante también la casi nula emisión de polvo que ese proceso significa, al tener capas estructurales compactadas.

Por último la aplicación de la pintura y la señalización de la zona, es un aspecto un tanto relevante desde el punto de vista comparativo, ya que, al aplicarlo sobre la superficie asfaltada, es un impacto menor que no afectan de sobre manera a las características físicas y químicas del entorno.

- **En cuanto a condiciones biológicas:** el uso de la opción del asfaltado para las condiciones biológicas que presenta la zona, contiene impactos que se pueden considerar cuantitativamente mínimos; las actividades de movimiento de tierras con respecto a la flora y fauna, es mínima salvo por el uso de maquinaria que exige este tipo de trabajos y que pueda afectar a las plantaciones existentes en la zona, así como también de la fauna que se puede encontrar en la zona, los cuales en su mayoría son animales domésticos. Pero se debe mencionar

que la zona es una avenida, que aunque no es muy concurrida, la presencia de vida animal y fauna en el eje de la vía es casi nula. El mismo detalle se ve en la aplicación del asfalto, siendo la diferencia la limitación total que este mejoramiento representaría para la presencia de plantas y animales; cabe resaltar que el presente estudio de investigación nos muestra la opción de la vía pavimentada con asfalto, pero no del mejoramiento del entorno, siendo este un aspecto externo a la investigación propiamente dicha, pero que puede ser incluida la plantación de vegetación, grass y árboles. En cuanto al pintado y la señalización de la zona, este aspecto también pasa prácticamente por alto para los componentes de flora y fauna.

- **En cuanto a los Factores Culturales:** de la misma manera que se utilizó para analizar los factores como usos del suelo, economía y estatus cultural con la utilización del polímero acrílico reticulado, se separar la matriz de las etapas tanto de construcción como de post construcción, para determinar los impactos positivos y negativos de la misma.

En la etapa de construcción, específicamente en los trabajos de movimiento de tierras, los usos del suelo se ven afectados ya que, al mejorarse la Avenida Las Torres, esta quedara sin utilidad durante su construcción, en todos los aspectos, tanto económicos, sociales y de transporte, durante la etapa de pavimentación y el pintado de la superficie de rodadura, que para la pavimentación suele ser dos días aproximadamente.

En la etapa de post construcción, el mejoramiento de la avenida atraerá tráfico, tal y como se puede denotar en las encuestas realizadas, esto representa un alza a nivel cultural, ya que,

beneficiara a los negocios de la zona, aliviará la saturación de tráfico de la Carretera Arequipa – Yura, representara lo ventajoso del mejoramiento y generando mejores condiciones de vida para la población que habita la zona y también los usuarios de la avenida. Para el mantenimiento de la vía, los aspectos son un poco desfavorables, dependiendo del deterioro en el que se encuentre, por ejemplo si es por la presencia de un “bache”, este se puede solucionar con parchado, el cual no es de mayor implicancia y se puede solucionar de manera rápida; por otro lado si son tramos muy largos y en numerosos puntos a lo largo de la vía, esta se solucionara mediante un recapeo o en el peor de los casos una nueva pavimentación, lo cual generaría una desventaja tanto para los usuarios como para los vecinos de la zona.

Por lo antes expuesto, se puede decir que los impactos ambientales que se presentan en la aplicación del Asfaltado en la avenida Las Torres, son más significativos en la etapa de construcción, por lo que será necesario medidas de mitigación, así como también en los posibles mantenimientos que se puedan realizar a lo largo de su vida útil.

5.3. ANÁLISIS ECONÓMICO

5.3.1. ANÁLISIS DE COMPONENTES ECONÓMICOS CON LA APLICACIÓN DEL POLÍMERO

Para el presente punto, se presentara el presupuesto referencial que comprendería la construcción o mejoramiento de dicho camino con la aplicación del polímero acrílico reticulado. Se considerara la topografía misma de la vía existente como primera alternativa, ya que la adecuación de la misma a un mejor nivel de sub rasante en referencia al perfil longitudinal, conlleva un mayor estudio, ya no solo del diseño geométrico del pavimento sino también de la adecuación de los lotes a la nueva topografía. Para tal efecto se utilizaran las siguientes partidas:

01. OBRAS PROVISIONALES

- 01.01. MOVILIZACION Y DESMOVILIZACION DE EQUIPO
- 01.02. OFICINA, ALMACEN Y CASETA DE GUARDIANIA PROVISIONALES

02. OBRAS PRELIMINARES

- 02.01. TRAZO, NIVELES Y CASETA DURANTE EL PROCESO

03. PAVIMENTOS

- 03.01. MOVIMIENTO DE TIERRAS
 - 03.01.1. CORTE DE MATERIAL COMPACTADO A NIVEL DE SUB RASANTE
 - 03.01.2. RELLENO Y COMPACTADO A NIVEL DE SUB RASANTE
 - 03.01.3. RELLENO Y COMPACTADO CON MATERIAL PROPIO
 - 03.01.4. ELIMINACION DE MATERIAL EXCEDENTE
 - 03.01.5. AGGREBIND (CON CAPA PROTECTORA SUPERFICIAL DE GRAVILLA, MC-30 Y RC-250
- 03.02. PINTURA
 - 03.02.1. PINTURA TRAFICO EN PAVIMENTOS
 - 03.02.2. PINTURA DE TRAFICO EN JARDINERAS, VEREDAS Y SARDINELES
- 03.03. SEÑALIZACION Y SEGURIDAD VIAL
 - 03.03.1. SEÑALES PREVENTIVAS
 - 03.03.2. SEÑALES REGULADORAS
 - 03.03.3. SEÑALES INFORMATIVAS

04. CONSERVACION DEL MEDIO AMBIENTE

- 04.01. LIMPIEZA FINAL DE OBRA
04.02. MANTENIMIENTO Y CONSERVACION AMBIENTAL

De dichas partidas, las más resaltantes son las partidas que están incluidas en el título de Pavimentos, centro de esta se incluyen movimiento de tierras y la aplicación del Polímero Acrílico Reticulado AggreBind, sustituyendo así la aplicación del asfalto en dicho proceso. A continuación se muestra el resumen presupuestal de dichas partidas.

Ítem	Descripción	Unidad	Metrado	Precio	Parcial	Subtotal	Total
05	<u>OBRAS PROVISIONALES</u>						15,756.00
05.01	MOVILIZACION Y DESMOVILIZACION DE EQUIPO	GLB	1.00	880.00	880.00		
05.02	OFICINA, ALMACEN Y CASETA DE GUARDIANIA PROVISIONALES	m2	200.00	74.38	14,876.00		
06	<u>OBRAS PRELIMINARES</u>						165,124.67
06.01	TRAZO, NIVELES Y REPLANTEO DURANTE EL PROCESO	M2	115,471.80	1.43	165,124.67		
07	<u>PAVIMENTOS</u>						1,896,482.93
07.01	<u>MOVIMIENTO DE TIERRAS</u>					1,839,303.68	
07.01.01	CORTE DE TERRENO EN FORMA MANUAL	M3	3,163.07	22.70	71,801.69		
07.01.02	RELLENO Y COMPACTADO CON MATERIAL PROPIO	m3	3,163.07	17.65	55,828.19		
07.01.03	ELIMINACION DE MATERIAL EXCEDENTE	m3	79.08	13.75	1,087.35		
07.01.04	PERFILADO Y COMPACTADO DE LA SUB RASANTE	M2	63,261.33	2.14	135,379.25		
07.01.05	AGGREBIND (CON CAPA PROTECTORA SUPERFICIAL DE GRAVILLA, MC-30 Y RC-250)	LT	37,956.80	41.50	1,575,207.20		
07.02	<u>PINTURA</u>					39,919.25	
07.02.01	PINTURA TRAFICO EN PAVIMENTOS	M2	96.12	8.45	812.21		
07.02.02	PINTURA DE TRAFICO EN JARDINERAS, VEREDAS Y SARDINELES	M2	4,792.53	8.16	39,107.04		
07.03	<u>SEÑALIZACION Y SEGURIDAD VIAL</u>					17,260.00	
07.03.01	SEÑALES PREVENTIVAS	UND	27.00	380.00	10,260.00		
07.03.02	SEÑALES REGULADORAS	UND	15.00	280.00	4,200.00		
07.03.03	SEÑALES INFORMATIVAS	UND	10.00	280.00	2,800.00		
08	<u>CONSERVACION DEL MEDIO AMBIENTE</u>						8,089.83
08.01	LIMPIEZA FINAL DE OBRA	KM	63.26	1.42	89.83		
08.02	MANTENIMIENTO Y CONSERVACION AMBIENTAL	GLB	1.00	8,000.00	8,000.00		
	COSTO DIRECTO						2,085,453.43
	GASTOS GENERALES				10 %		208,545.34

UTILIDAD	10 %	208,545.34
SUB TOTAL		2,502,544.11
IGV.	18 %	450,457.94
PRESUPUESTO TOTAL		2,953,002.05

Por lo antes expuesto, el presupuesto de obra asciende a **S/. 2'953,002.05 (DOS MILLONES NOVECIENTOS CINCUENTA Y TRES MIL DOS CON 05/100 NUEVOS SOLES).**

5.3.2. ANÁLISIS DE COMPONENTES ECONÓMICOS CON LA APLICACIÓN DEL ASFALTO.

Considerando el punto anterior, se tomaran estándares similares para contemplar la construcción del pavimento con la aplicación del asfalto, es decir, un pavimento flexible de asfalto en frío de 2 pulgadas de espesor, para lo cual se mostrara a continuación el presupuesto referencial de dicha alternativa. Para tal efecto se tomaran en cuenta las siguientes partidas, los siguientes metrados y por consecuente el siguiente presupuesto:

02. OBRAS PROVISIONALES

- 04.03. MOVILIZACION Y DESMOVILIZACION DE EQUIPO
- 04.04. OFICINA, ALMACEN Y CASETA DE GUARDIANIA PROVISIONALES

05. OBRAS PRELIMINARES

- 05.01. TRAZO, NIVELES Y CASETA DURANTE EL PROCESO

06. PAVIMENTOS

- 06.01. MOVIMIENTO DE TIERRAS
 - 06.01.1. CORTE DE MATERIAL COMPACTADO A NIVEL DE SUB RASANTE
 - 06.01.2. RELLENO Y COMPACTADO A NIVEL DE SUB RASANTE
 - 06.01.3. RELLENO Y COMPACTADO CON MATERIAL PROPIO
 - 06.01.4. ELIMINACION DE MATERIAL EXCEDENTE

- 06.01.5. PERFILADO Y COMPACTADO DE LA SUB RASANTE
- 06.02. BASE GRANULAR
 - 06.02.1. EXTENDIDO Y COMPACTADO DE BASE GRANULAR
- 06.03. IMPRIMACION
 - 06.03.1. BARRIDO SUPERFICIAL GRANULAR
 - 06.03.2. IMPRIMACION ASFALTICA
 - 06.03.3. ARENADO
- 06.04. CARPETA ASFALTICA EN FRIO e=2”
 - 06.04.1. BARRIDO DE SUPERFICIE IMPRIMADA
 - 06.04.2. RIEGO DE LIGA
 - 06.04.3. PREPARACION DE MEZCLA ASFALTICA EN FRIO e=2”
 - 06.04.4. CARGUIO DE MEZCLA ASFALTICA EN FRIO
 - 06.04.5. TRANSPORTE DE MEZCLA ASFALTICA A OBRA
 - 06.04.6. CARPETA ASFALTICA DE 2”
 - 06.04.7. ARENADO SUPERFICIAL DE PROTECCION A CARPETA
- 06.05. PINTURA
 - 06.05.1. PINTURA TRAFICO EN PAVIMENTOS
 - 06.05.2. PINTURA DE TRAFICO EN JARDINERAS, VEREDAS Y SARDINELES
- 06.06. SEÑALIZACION Y SEGURIDAD VIAL
 - 06.06.1. SEÑALES PREVENTIVAS
 - 06.06.2. SEÑALES REGULADORAS
 - 06.06.3. SEÑALES INFORMATIVAS
- 07. CONSERVACION DEL MEDIO AMBIENTE**
 - 07.01. LIMPIEZA FINAL DE OBRA
 - 07.02. MANTENIMIENTO Y CONSERVACION AMBIENTAL

De dichas partidas, las más resaltantes son las partidas que están incluidas en el título de Pavimentos, centro de esta se incluyen movimiento de tierras, base granular, imprimado, carpeta asfáltica y pintura en la carpeta asfáltica. A continuación se muestra el resumen presupuestal de dichas partidas.

<i>Ítem</i>	<i>Descripción</i>	<i>Unidad</i>	<i>Metrado</i>	<i>Precio</i>	<i>Parcial</i>	<i>Subtotal</i>	<i>Total</i>
01	<u>OBRAS PROVISIONALES</u>						15,756.00
01.01	MOVILIZACION Y DESMOVILIZACION DE EQUIPO	GLB	1.00	880.00	880.00		

**Tesis “Estudio de Polímeros Acrílicos Reticulados como capa de rodadura para la vía no pavimentada en la Avenida
Las Torres del Distrito de Yura – Arequipa”
Bach. Ing. Civil Brayn Adolfo Vilca Romero**

01.02	OFICINA, ALMACEN Y CASETA DE GUARDIANA PROVISIONALES	m2	200.00	74.38	14,876.00	
02	OBRAS PRELIMINARES					165,124.67
02.01	TRAZO, NIVELES Y REPLANTEO DURANTE EL PROCESO	M2	115,471.80	1.43	165,124.67	
03	PAVIMENTOS					4,470,213.65
03.01	MOVIMIENTO DE TIERRAS					212,285.39
03.01.01	CORTE DE MATERIAL COMPACTADO A NIVEL SE SUB RASANTE	M3	3,163.07	6.32	19,990.60	
03.01.02	RELLENO Y COMPACTADO CON MATERIAL PROPIO	m3	3,163.07	17.65	55,828.19	
03.01.03	ELIMINACION DE MATERIAL EXCEDENTE	m3	79.08	13.75	1,087.35	
03.01.04	PERFILADO Y COMPACTADO DE LA SUB RASANTE	M2	63,261.33	2.14	135,379.25	
03.02	BASE GRANULAR					580,106.40
03.02.01	EXTENDIDO Y COMPACTADO DE BASE GRANULAR	M2	63,261.33	9.17	580,106.40	
03.03	IMPRIMACION					530,129.94
03.03.01	BARRIDO DE SUPERFICIE GRANULAR	M2	63,261.33	0.59	37,324.18	
03.03.02	IMPRIMACION ASFALTICA	M2	63,261.33	7.43	470,031.68	
03.03.03	ARENADO	M2	63,261.33	0.36	22,774.08	
03.04	CARPETA ASFALTICA EN FRIO e=2"					3,090,512.67
03.04.01	BARRIDO DE SUPERFICIE IMPRIMADA	M2	63,261.33	0.32	20,243.63	
03.04.02	RIEGO DE LIGA	M2	63,261.33	1.49	94,259.38	
03.04.03	PREPARACION DE MEZCLA ASFALTICA EN FRIO e=2"	M3	3,416.11	350.22	1,196,390.04	
03.04.04	CARGUIO DE MEZCLA ASFALTICA EN FRIO	M3	3,416.11	2.77	9,462.62	
03.04.05	TRANSPORTE DE MEZCLA ASFALTICA A OBRA	M3	3,416.11	14.29	48,816.21	
03.04.06	CARPETA ASFALTICA DE 2"	M2	63,261.33	26.79	1,694,771.03	
03.04.07	ARENADO SUPERFICIAL DE PROTECCION DE CARPETA	M2	63,261.33	0.42	26,569.76	
03.05	PINTURA					39,919.25
03.05.01	PINTURA TRAFICO EN PAVIMENTOS	M2	96.12	8.45	812.21	
03.05.02	PINTURA DE TRAFICO EN JARDINERAS, VEREDAS Y SARDINELES	M2	4,792.53	8.16	39,107.04	
03.06	SEÑALIZACION Y SEGURIDAD VIAL					17,260.00
03.06.01	SEÑALES PREVENTIVAS	UND	27.00	380.00	10,260.00	
03.06.02	SEÑALES REGULADORAS	UND	15.00	280.00	4,200.00	
03.06.03	SEÑALES INFORMATIVAS	UND	10.00	280.00	2,800.00	
04	CONSERVACION DEL MEDIO AMBIENTE					8,089.83
04.01	LIMPIEZA FINAL DE OBRA	KM	63.26	1.42	89.83	
04.02	MANTENIMIENTO Y CONSERVACION AMBIENTAL	GLB	1.00	8,000.00	8,000.00	
	COSTO DIRECTO					4,659,184.15
	GASTOS GENERALES				10 %	465,918.42

UTILIDAD	10 %	465,918.42
SUB TOTAL		5,591,020.99
IGV.	18 %	1,006,383.78
PRESUPUESTO TOTAL		6,597,404.77

Es por tal que el presupuesto de obra asciende a **S/. 6'597,404.77 (SEIS MILLONES QUINIENTOS NOVENTA Y SIETE MIL CUATROCIENTOS CUATRO CON 77/100 NUEVOS SOLES).**

CAPITULO VI

6. ANALISIS DE RESULTADO DE INVESTIGACION

6.1. COMPARACIÓN FÍSICA DEL CAMINO ENTRE LA APLICACIÓN DEL POLÍMERO ACRÍLICO RETICULADO Y EL SUELO ACTUAL.

Para la comparación en cuanto al aspecto físico de la vía, debemos resaltar tres puntos encontrados en el análisis realizado al suelo, estos son:

a) Clasificación del suelo en estudio: el aspecto de la clasificación del suelo es el punto de partida en la orientación de nuestro proyecto de investigación, ya que, nos permite referenciar el estado del suelo y determinar si este es bueno o no. Así es como según las clasificación AASHTO Y SUCS da como resultado que el suelo para los cuatro sondeos realizados a lo largo de toda la avenida da lo siguiente:

- **Calicata “C-01”:** la clasificación para esta calicata y por ende, para esta muestra es **“SW Arena Bien Graduada”** en Clasificación **SUCS** y **“A-1-b Cantos, Grava y Arena”** en Clasificación **AASHTO**; para ambas clasificaciones son suelos muy buenos.
 - **Calicata “C-02”:** la clasificación para esta calicata y por ende, para esta muestra es **“SW Arena Bien Graduada”** en Clasificación **SUCS** y **“A-3 Arena Fina”** en Clasificación **AASHTO**; para ambas clasificaciones son suelos muy buenos.
-

- **Calicata “C-03”:** la clasificación para esta calicata y por ende, para esta muestra es **“SW Arena Bien Graduada”** en Clasificación **SUCS** y **“A-1-b Cantos, Grava y Arena”** en Clasificación **AASHTO**; para ambas clasificaciones son suelos muy buenos.
- **Calicata “C-04”:** la clasificación para esta calicata y por ende, para esta muestra es **“SW Arena Bien Graduada”** en Clasificación **SUCS** y **“A-1-b Cantos, Grava y Arena”** en Clasificación **AASHTO**; para ambas clasificaciones son suelos muy buenos.

De lo antes detallado, se puede denotar que los suelos que conforman la Avenida Las Torres, son muy buenos, siendo el más desfavorable el Suelo de la Calicata C-02 al tener mayor cantidad de finos. Este factor es determinante, ya que, es en este momento que el suelo en situaciones normales aparentemente no necesitaría de estabilización salvo se quiera controlar otro tipo de factores.

b) California Bearing Ratio (CBR) suelo normal y suelo con la aplicación del polímero: para expresar este factor, se analizaran los resultados del ensayo CBR aplicado en las mismas condiciones para ambos testigos o muestras. A continuación se muestran los resultados para las muestras pertenecientes a la Calicata C-02:

- **CBR Suelo normal:** el resultado para el CBR ideal de dicho suelo es de 86% a una densidad seca de 1.815 gramos por centímetro cúbico.
- **CBR Suelo con Polímero Acrílico Reticulado:** el resultado aplicado a esta mezcla, da como CBR ideal 94% a una densidad seca de 1.815 gramos por centímetro cúbico.

Es así como se analizaran ambos valores, siendo el del polímero ligeramente más alto que el usado con suelo normal, muy cercano al 100%, esto es debido a que el suelo encontrado en esta calicata es muy bueno; así mismo debido a este motivo, no sería necesario utilizar el polímero acrílico reticulado para estabilizar dicho suelo, salvo sea necesario para mejorar otras características de la vía, tales como el control de polvo o el acabado de la superficie de rodadura.

c) Diseño del pavimento mediante el método NAASRA: el diseño realizado a la vía, mediante el método NAASRA para la vía, tanto en estado actual como estabilizada, necesita como se mencionó con anterioridad los datos del Estudio de Trafico y el Ensayo CBR; siendo así y ya conociendo dichos datos, se procedió con el Diseño, el cual nos da los siguientes resultados:

- **Diseño Suelo sin la aplicación del Polímero:** el resultado del diseño arroja una superficie de afirmado de 76 milímetros, es decir, 7.60 centímetros aproximadamente, pero por normativa, el espesor mínimo a usar es de 150 mm, es decir, 15 centímetros.
- **Diseño Suelo con la aplicación del Polímero:** el resultado del diseño arroja una superficie de afirmado de 77.34 milímetros, es decir, 7.73 centímetros aproximadamente, pero nuevamente por normativa, el espesor mínimo a usar es de 150 milímetros, es decir, 15 centímetros.

Según lo detallado se puede decir, que para ambos diseños, se usara el espesor mínimo de 15 centímetros de espesor del pavimento, es por ello

que, en cuanto a funcionalidad estructural, el camino no necesita de estabilización.

Por lo antes expuesto, se denota que, para los tres aspectos del suelo que son clasificación, ensayo CBR y Diseño del Pavimento, el suelo en condiciones normales no necesitaría un mejoramiento significativo, sin embargo, por algunos defectos demostrados en el **ítem 3.3. Características de la Zona** en referencia a los **hundimientos e irregularidades** de dicha avenida, además del **tráfico atraído** que socialmente significaría el mejoramiento de dicha avenida, demostrado con anterioridad con las encuestas realizadas a los vehículos que normalmente transitan en la Carretera Arequipa – Yura, es que se puede afirmar, que la vía **necesita del mejoramiento** para su puesta en funcionamiento y que sea de mayor utilidad para la población tanto de la zona como también la población que usa la zona como intermedio para llegar a otros destinos.

6.2. COMPARACIÓN MEDIO AMBIENTAL DEL CAMINO ENTRE LA APLICACIÓN DEL POLÍMERO ACRÍLICO RETICULADO Y LA APLICACIÓN DE ASFALTO.

Para la comparación en cuanto a los aspectos medio ambientales, nos basaremos en la utilización del polímero acrílico reticulado y la posible aplicación de asfaltado en la avenida. Para esto utilizaremos la matriz de Leopold y el uso histórico del polímero como base de rodadura.

- a) **Aplicación de la matriz de Leopold con la aplicación del polímero:** cabe resaltar que para tomar en cuenta esta herramienta se usaron experiencias en la utilización del polímero, ya que construir un tramo de prueba en esta avenida o en alguna similar se representaría mejor en

un estudio mucho más detallado y a nivel de proyecto definitivo. A pesar de ello se tomaron datos que no se alejen de la realidad en la que vivimos, estos mismos se podrán revisar en los anexos de la presente investigación. Ahora analizando más la matriz, se puede denotar que esta conlleva impactos a menor escala en cuanto a la construcción del pavimento, como en el movimiento de tierras y la aplicación del polímero en sí; más aún en la etapa de operación donde los impactos son positivos, con la superficie mejorada en cuanto a la capa de rodadura, sin desprender polvo y siendo un poco más dura. En cuanto a los trabajos de mantenimiento, estos pueden ser reparados con facilidad, tanto si son mayores como menores.

- b) Aplicación de la matriz de Leopold con la aplicación del asfalto:** para armar la matriz con la alternativa de la aplicación del asfalto, de la misma manera que el caso anterior, se utilizaron experiencias anteriores, casos comunes de asfaltado y lo aprendido de los manuales de pavimentación y otros mencionados en la bibliografía. Así es pues que al analizar a detalle la matriz, nos podemos dar cuenta que los impactos encontrados por cada etapa del proyecto respecto a los componentes del entorno, esta tiene algunos que resaltan, tales como en la etapa de movimiento de tierras y el uso del asfaltado, el cual es una actividad que representa un tiempo para que el camino esté listo para usar. En la etapa de operación la realidad es otra, al ser una superficie definitiva, esta gana puntos de ventaja, la mayoría de estos a nivel social. Por ultimo en un posible mantenimiento de la misma, esta dependerá de cuán grande sea el daño a rehabilitar y obviamente, mientras más grande el daño, más tiempo y complejidad al trabajo se ira añadiendo, cada vez más cercano al tiempo de espera normal de un nuevo asfaltado.

Es por tanto, que realizando la comparación en referencia a los aspectos ambientales de la vía con el uso de la **alternativa del polímero** respecto a la del asfaltado, esta **termina afectando en menor escala al medio ambiente y al entorno**, específicamente en la etapa de construcción y mantenimiento, ambas traducidas en la facilidad de la aplicación del mismo. Se puede agregar también que la utilización del polímero cuenta con certificaciones que lo hacen amigable con el ambiente, siendo este punto favorable al momento de comparar.

6.3. COMPARACIÓN ECONÓMICA DEL CAMINO ENTRE LA APLICACIÓN DEL POLÍMERO ACRÍLICO RETICULADO Y LA APLICACIÓN DE ASFALTO.

Para dicha comparación, se deben de tener claros los lineamientos de Costo-Beneficio de cada alternativa, especialmente la alternativa producto de esta tesis, la cual es la aplicación del polímero acrílico reticulado; así mismo se usara cada método de comparación de costo beneficio para tener en claro desde todos los puntos de vista, la viabilidad o no se este proyecto.

Para la comparación económica de las dos alternativas, se detallara el costo que demandaría el mejoramiento de la avenida con cada opción de diseño. Además de contar con un presupuesto para casos de mantenimiento vial.

Ítem	Descripción	Monto
01	MEJORAMIENTO CON CARPETA ASFALTICA	S/. 6,597,404.77
02	MEJORAMIENTO CON POLIMERO	S/. 2,953,002.05

Se puede denotar de la tabla, que el **presupuesto** que se usaría para el **mejoramiento de la vía con la utilización del polímero es más bajo que el**

usado para la alternativa de una carpeta asfáltica, específicamente en **44.76 %**, es decir que, si se toma la alternativa del polímero, el ahorro sería casi la mitad de la opción del asfaltado. Este factor termina siendo determinante y a su vez una ventaja más para la alternativa del polímero en la etapa de construcción.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Se presentaran a continuación las conclusiones a las que se ha llegado con el presente proyecto de investigación, cabe resaltar que las mismas están ligadas a los objetivos del proyecto de investigación.

- a) **Respecto a las comparaciones:** como se ha mostrado en los ítems de comparaciones, el polímero acrílico reticulado muestra una ligera ventaja respecto al suelo en estado natural, específicamente en cuanto a la resistencia, esto se debe a la presencia de un suelo muy bueno, como es el encontrado en la Avenida Las Torres, esto se traduce a que el mejoramiento se tendría que apoyar en la idea de que el mejoramiento no solo será en su resistencia sino también en factores como el control de polvo, el aspecto visual que este impone llevando desde un punto de vista social y la impermeabilidad de la superficie mejorada, lo cual se sabe, es de especial importancia para los pavimentos. Ahora bien para las comparaciones del mejoramiento con la utilización del polímero, este lleva ventaja respecto a la alternativa de asfaltado, tanto ambiental como económicamente. Ambientalmente provoca menos impactos al entorno y menos molestia a la población que un asfaltado. Económicamente, según nuestra evaluación y el tiempo de vida del suelo mejorado con el polímero, esta termina siendo favorable, ya que, en cuanto a construcción, se tiene un ahorro del 44.76 %, es decir, casi la mitad; respecto al mantenimiento de la vía, se debe mencionar, que la opción del polímero es de un proceso constructivo mucho más manejable que el usado en la pavimentación normal, por lo que, este aspecto también da un punto de ventaja para la alternativa de mejoramiento con la aplicación del polímero.
-

- b) Respecto a la Vía Mejorada:** la Avenida Las Torres, tal y como se concluye en el ítem de encuentras, al proponerse un mejoramiento de la vía, esta atrae tráfico de la Carretera Arequipa – Yura, el cual es uno de los objetivos principales de la presente investigación. Este punto nos da la respuesta a la interrogante de si se puede usar o no el polímero acrílico Reticulado en la Avenida Las Torres, del Distrito de Yura; a la cual se puede dar una respuesta afirmativa, siendo esta alternativa viable ya que no solo mejora el suelo de la Vía, sino que también nos sirve de control de polvo en la misma y mejora el aspecto de la vía, dándole un acabado parecido al asfaltado y haciéndola socialmente competitiva y confiable para los usuarios de la vía y la población.
- c) Respecto a las preguntas secundarias del Proyecto de investigación:** a lo largo del proyecto, se han resuelto muchas interrogantes que se tenían respecto a esta alternativa de mejoramiento de dicha avenida, así mismo han sido explicadas en los ensayos finales realizados al suelo y al suelo con adición de polímero, estos ensayos nos han permitido saber cuáles son las propiedades del suelo con la adición del polímero, respecto a las de la vía en su estado actual. Así mismo se ha podido medir la capacidad de soporte del suelo estabilizado, concluyendo que si mejora su capacidad de soporte pero que esta se ha dado en menor proporción debido a que el suelo que se encontró en la Avenida es un suelo muy bueno respecto a su clasificación y con una capacidad de soporte relativamente alta. También se ha podido comparar la alternativa de la aplicación del polímero con la alternativa de un asfaltado normal o tradicional, tanto en aspectos medio ambientales como en aspectos económicos, siendo la primera de menor impacto ambiental y de menor costo que la alternativa que comúnmente usan para pavimentar un camino.

Así mismo el proyecto de investigación nos ha permitido obtener algunas recomendaciones, estas son:

- La avenida Las Torres, cuenta con número considerable de torrenteras a lo largo de casi toda su longitud, la mayoría de estas han sido solucionadas tanto por la topografía como por obras de arte, todas excepto una, de gran envergadura y mostrada con anterioridad en el panel fotográfico; para efectos del presente proyecto de investigación, no se ha considerado, ya que se considera como un factor de menor relevancia respecto a los aspectos técnicos de la comparación entre las alternativas propuestas. Sin embargo para un estudio de mayor proporción, esta deberá considerarse, así mismo la solución para que la Avenida sea continua sería la de ejecutar una obra de arte, ya sea un puente o un badén, que permita la continuidad de la misma.
- El uso del polímero acrílico reticulado es una alternativa viable respecto a la alternativa del asfaltado, sin embargo, refiriéndonos a los aspectos sociales de la misma, esta no es del todo convincente a la población, ya que la misma está acostumbrada a relacionar el pavimentar la vía con el asfaltado de la misma, dejando de lado otras alternativas de pavimentación. Siendo así se recomendaría una tercera alternativa, la cual sería la estabilización de una vía, preferiblemente una que tenga baja capacidad de soporte, y además la aplicación de un asfaltado de 1 pulgada de espesor, para darle el acabado esperado por la población; esta alternativa sería más elevada que la de solo usar el polímero, sin embargo se presume que será menor que la de únicamente asfaltar, ya que, en el supuesto de que el suelo sea pésimo para usar como base, este deberá reemplazarse para realizar la alternativa del asfaltado completo, todo lo contrario a usar el estabilizador, el cual elevaría su capacidad de soporte y el cambio de material de la vía ya no sería parte del proceso constructivo y del monto del presupuesto.

- Por último, la recomendación general del proyecto es la analizar más de una alternativa de pavimentación de una vía, ya que, dependiendo de las características de la zona, se puede optar por otras alternativas que pueden ser más viables, es decir, representarían un menor impacto, en menor tiempo y más económica, lo cual representa una ganancia en todos los aspectos para la población.

ANEXOS

ESTUDIO DE TRÁFICO

Tesis "Estudio de Polímeros Acrílicos Reticulados como capa de rodadura para la vía no pavimentada en I

FORMATO DE CLASIFICACION VEHICULAR DE ALTO VOLUMEN DE TRANSITO - CARRETERA AREQUIPA YURA

TRAMO DE CARRETERA CARRETERA AREQUIPA - YURA
 SENTIDO CARRIL IZQUIERDO S ← CARRIL DERECHO N →
 UBICACION YURA - AREQUIPA
 DIA JUEVES 16-abr

FECHA	HORA	CARRIL	VEHICULOS LIGEROS										VEHICULOS PESADOS					
			BICICLETAS	MOTOS	TAXIS	STATION WAGON	AUTOS	PICK UP	COMBIS	PANEL	COASTER	BUS		CAMIONES				
15 de agosto	6-8 a.m	D	5	10	92	76	148	138	21	15	156	17	7	77	23	5	7	18
		I	2	18	136	64	132	63	13	8	127	13	5	16	19	13	3	30
		D	8	11	120	62	151	125	15	12	162	10	2	23	11	8	5	11
15 de agosto	12-2 p.m	I	6	5	104	71	159	132	18	16	140	8	2	18	15	3	8	15
		D	1	2	102	28	133	95	7	21	132	10	12	21	18	1	5	6
		I	2	4	128	12	118	120	10	5	117	15	18	13	8	4	2	7
PARCIAL		D	14	23	314	166	432	359	43	48	450	37	21	121	52	14	17	35
		I	10	27	368	147	409	315	41	29	384	36	25	47	42	20	13	52

TRAMO DE CARRETERA CARRETERA AREQUIPA - YURA
 SENTIDO CARRIL IZQUIERDO S ← CARRIL DERECHO N →
 UBICACION YURA - AREQUIPA
 DIA VIERNES 17-abr

FECHA	HORA	CARRIL	VEHICULOS LIGEROS										VEHICULOS PESADOS					
			BICICLETAS	MOTOS	TAXIS	STATION WAGON	AUTOS	PICK UP	COMBIS	PANEL	COASTER	BUS		CAMIONES				
15 de agosto	6-8 a.m	D	4	8	112	68	140	142	28	13	162	15	5	25	25	4	6	14
		I	0	12	123	75	123	72	12	15	130	9	5	18	20	12	7	26
		D	2	10	132	53	159	123	18	10	168	12	8	19	13	5	9	12
15 de agosto	12-2 p.m	I	3	8	128	61	150	140	25	13	125	10	5	23	16	2	6	14
		D	0	4	115	31	120	82	5	30	136	8	7	24	12	2	4	4
		I	1	1	101	14	135	135	16	12	121	17	15	29	7	7	2	3
PARCIAL		D	6	22	359	152	419	347	51	53	465	35	20	68	50	11	19	30
		I	3	21	352	150	408	347	53	40	376	36	25	70	43	21	15	43

TRAMO DE CARRETERA SENTIDO UBICACIÓN DÍA		CARRERA AREQUIPA - YURA CARRIL DERECHO S ← YURA - AREQUIPA SABADO 18-abr										CARRIL DERECHO N →									
		VEHICULOS LIGEROS					VEHICULOS PESADOS					VEHICULOS LIGEROS					VEHICULOS PESADOS				
FECHA	HORA	BICICLETA	MOTOS	TAXIS	STATION WAGON	AUTOS	PICK UP	COMBIS	PANEL	COASTER	BUS		CAMIONES								
											2 EJES	3 EJES	2 EJES	3 EJES	2 EJES	3 EJES	4 EJES	5 EJES	5 EJES		
TRAMO DE CARRETERA SENTIDO UBICACIÓN DÍA		CARRERA AREQUIPA - YURA CARRIL DERECHO S ← CERRO COLORADO - AREQUIPA DOMINGO 19-abr																			
		VEHICULOS LIGEROS					VEHICULOS PESADOS					VEHICULOS LIGEROS					VEHICULOS PESADOS				
													BUS		CAMIONES						
													2 EJES	3 EJES	2 EJES	3 EJES	2 EJES	3 EJES	4 EJES	5 EJES	5 EJES
		6-8 a.m	D	5	15	128	24	180	157	55	18	171	12	7	22	18	8	4	10		
			I	5	12	140	57	167	145	25	14	142	16	6	25	21	11	9	15		
		12-2 p.m	D	4	11	145	58	172	129	14	7	186	9	5	14	11	4	6	15		
			I	6	17	136	60	160	110	19	5	138	14	8	10	15	4	5	18		
		6-8 p.m	D	2	8	120	28	142	90	12	18	145	5	3	18	12	5	2	6		
			I	1	3	112	19	154	110	8	9	130	15	5	21	18	3	1	9		
PARCIAL		12	54	585	110	454	359	62	43	482	26	15	54	41	17	12	18	43			
		1	12	388	116	481	365	52	28	410	43	17	55	54	18	15	42				
TRAMO DE CARRETERA SENTIDO UBICACIÓN DÍA		CARRERA AREQUIPA - YURA CARRIL DERECHO S ← CERRO COLORADO - AREQUIPA DOMINGO 19-abr																			
		VEHICULOS LIGEROS					VEHICULOS PESADOS					VEHICULOS LIGEROS					VEHICULOS PESADOS				
													BUS		CAMIONES						
													2 EJES	3 EJES	2 EJES	3 EJES	2 EJES	3 EJES	4 EJES	5 EJES	5 EJES
		6-8 a.m	D	2	12	135	52	160	120	28	20	167	10	4	20	13	5	7	12		
			I	5	16	116	12	144	123	24	12	150	17	5	16	10	6	5	11		
		12-2 p.m	D	5	10	120	45	152	100	18	12	146	5	7	8	7	5	2	12		
			I	7	8	128	37	134	95	10	7	130	8	6	11	5	5	6	15		
		6-8 p.m	D	0	5	118	26	138	76	14	15	132	6	4	15	9	2	8	11		
			I	1	2	105	14	145	81	9	11	127	9	12	17	13	6	5	16		
PARCIAL		6	27	375	103	450	295	60	47	445	31	15	43	26	13	17	25	45			
		13	28	349	63	423	299	43	50	407	54	23	44	28	17	16	42				
TRAMO DE CARRETERA SENTIDO UBICACIÓN DÍA		CARRERA AREQUIPA - YURA CARRIL DERECHO S ← CERRO COLORADO - AREQUIPA LUNES 20-abr																			
		VEHICULOS LIGEROS					VEHICULOS PESADOS					VEHICULOS LIGEROS					VEHICULOS PESADOS				
													BUS		CAMIONES						
													2 EJES	3 EJES	2 EJES	3 EJES	2 EJES	3 EJES	4 EJES	5 EJES	5 EJES
		6-8 a.m	D	6	22	75	27	185	159	51	50	77	9	6	54	5	3	8	22		
			I	4	35	77	19	172	58	53	41	81	6	9	17	8	9	8	18		
		12-2 p.m	D	2	17	65	21	77	63	48	53	76	5	3	43	8	6	5	36		
			I	5	22	58	28	63	47	52	46	70	8	7	55	12	7	13	41		
		6-8 p.m	D	2	12	59	26	120	51	50	47	85	12	5	50	12	6	5	52		
			I	3	8	51	13	103	69	39	60	70	10	7	58	10	4	8	45		
PARCIAL		10	51	197	74	592	253	149	150	236	26	14	147	25	15	18	110				
		1	12	185	60	358	175	124	147	223	24	23	130	50	20	29	102				

TRAMO DE CARRETERA		CARRERA AREQUIPA - YURA																
SENTIDO		CARRIL IZQUIERDO S ←					CARRIL DERECHO N →											
UBICACIÓN		CERRO COLORADO - AREQUIPA																
DÍA		MARTES 21-2br																
FECHA	HORA	CARRIL	VEHICULOS LIGEROS										VEHICULOS PESADOS					
			BICICLETA	MOTOS	TAXIS	STATION WAGON	AUTOS	PICK UP	COMBIS	PANEL	COASTER	2 EJES	3 EJES	BUS	2 EJES	3 EJES	4 EJES	5 EJES	6 EJES
01 de agosto	6-8 a.m	D	5	18	68	29	190	120	52	41	82	20	5	42	2	4	10	26
		I	2	26	75	25	184	84	45	57	70	13	5	26	3	2	7	20
		D	8	18	63	31	58	45	45	65	59	9	3	59	13	3	12	47
		I	2	12	56	18	66	45	51	49	81	5	5	42	10	1	7	45
		D	1	15	54	12	139	44	88	65	88	18	1	55	11	11	7	42
		I	1	10	55	15	105	75	57	63	57	11	6	42	9	1	7	36
PARCIAL		D	14	51	186	54	360	223	160	151	235	47	9	155	26	18	59	115
	I	5	48	186	59	355	204	151	169	208	29	16	110	22	4	21	59	

TRAMO DE CARRETERA		CARRERA AREQUIPA - YURA																
SENTIDO		CARRIL IZQUIERDO S ←					CARRIL DERECHO N →											
UBICACIÓN		CERRO COLORADO - AREQUIPA																
DÍA		MIÉRCOLES 22-2br																
FECHA	HORA	CARRIL	VEHICULOS LIGEROS										VEHICULOS PESADOS					
			BICICLETA	MOTOS	TAXIS	STATION WAGON	AUTOS	PICK UP	COMBIS	PANEL	COASTER	2 EJES	3 EJES	BUS	2 EJES	3 EJES	4 EJES	5 EJES	6 EJES
01 de agosto	6-8 a.m	D	3	18	68	29	190	120	52	41	82	20	5	42	2	4	10	26
		I	4	26	75	25	184	84	45	57	70	13	5	26	3	2	7	20
		D	1	15	60	24	56	63	48	64	63	4	4	45	8	6	9	37
		I	2	11	51	13	43	76	40	45	57	13	7	58	5	3	13	20
		D	0	8	58	25	121	45	54	48	85	8	2	48	7	5	8	28
		I	3	13	50	13	136	63	37	62	61	15	3	53	8	5	15	32
PARCIAL		D	4	41	186	78	367	228	154	126	230	36	11	156	17	13	27	91
	I	9	50	176	52	363	223	120	145	188	41	15	117	16	10	33	82	

FORMATO DE CLASIFICACION VEHICULAR DE ALTO VOLUMEN DE TRANSITO - CARRETERA AREQUIPA YURA

TRAMO DE CARRETERA		AV LAS TORRES																
SENTIDO		CARRIL IZQUIERDO S ←					CARRIL DERECHO N →											
UBICACIÓN		YURA - AREQUIPA																
DÍA		JUEVES 16-2br																
FECHA	HORA	CARRIL	VEHICULOS LIGEROS										VEHICULOS PESADOS					
			BICICLETA	MOTOS	TAXIS	STATION WAGON	AUTOS	PICK UP	COMBIS	PANEL	COASTER	2 EJES	3 EJES	BUS	2 EJES	3 EJES	4 EJES	5 EJES
01 de agosto	6-8 a.m	D	3	2	5	0	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		I	1	0	6	0	2	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
		D	0	1	4	0	4	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		I	2	3	2	0	2	3	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0
		D	1	3	5	1	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		I	0	3	2	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PARCIAL		D	4	6	14	1	9	3	0	0	0	1	0	0	0	0	0	
	I	3	6	10	0	5	4	0	1	0	2	0	0	0	0	0	0	

FORMATO DE RESUMEN DE LA SEMANA - CLASIFICACION VEHICULAR

DIA	VEHICULOS	VEHICULOS LIGEROS											VEHICULOS PESADOS						TOTAL	FROM POR HORA	DIAS						
		CABRIL	BICICLETAS	MOTOS	TAXIS	STATION WAGON	AUTOS	PICK UP	COMBIS	FANEL	CONASTER	BUS			CAMIONES												
											2 Ejes	3 Ejes	2 Ejes	3 Ejes	4 Ejes	5 Ejes	6 Ejes										
JUEVES	D	4	6	14	1	9	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	39	11.666667	JUEVES	
	I	3	6	10	0	5	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	31		
	AMBIOS	7	12	24	1	14	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	70		
VIERNES	D	5	4	4	0	7	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	25	8	VIERNES
	I	2	4	6	1	7	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	23		
	AMBIOS	7	9	10	1	14	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	48		
SABADO	D	8	8	8	1	5	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	32	10.833333	SABADO
	I	8	5	7	1	6	4	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	33		
	AMBIOS	16	13	15	2	11	5	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	65		
DOMINGO	D	3	3	3	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	13	5	DOMINGO
	I	2	3	6	0	5	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	17		
	AMBIOS	5	6	9	0	8	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	30		
LUNES	D	7	7	9	1	10	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	38	11.666667	LUNES
	I	7	7	9	1	10	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	38		
	AMBIOS	14	14	18	2	16	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	77	8.333333	
MARTES	D	4	4	4	8	0	11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	23		
	I	5	6	5	1	5	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	23		
	AMBIOS	9	10	13	1	16	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	50	8.5	
MIERCOLES	D	6	5	7	0	9	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	22		
	I	4	1	7	3	6	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	22		
	AMBIOS	10	6	14	3	15	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	51		
TOTAL	PROMEDIO	9.714285714	10	14.4285714	1.4285714	13.4285714	3.71428571	0.28571429	0.28571429	0.28571429	0.28571429	0.28571429	0.28571429	0.28571429	0.28571429	0.28571429	0.28571429	0.28571429	0.28571429	0.28571429	0.28571429	0.28571429	0.28571429	0.28571429	54.4285714		
%		0.25%	0.20%	0.30%	0.04%	0.35%	0.10%	0.01%	0.01%	0.01%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	1.42%		
PRODUCCION 24 H		38.8574286	40	57.742857	5.7142857	53.7142857	14.8571429	1.4285714	1.4285714	1.4285714	1.4285714	1.4285714	1.4285714	1.4285714	1.4285714	1.4285714	1.4285714	1.4285714	1.4285714	1.4285714	1.4285714	1.4285714	1.4285714	1.4285714	217.74286		
INDA		17.25537486	21.405472	21.9621834	2.50192823	28.6332937	10.9417326	0.27799334	0.83397943	0.83397943	0.83397943	0.83397943	0.83397943	0.83397943	0.83397943	0.83397943	0.83397943	0.83397943	0.83397943	0.83397943	0.83397943	0.83397943	0.83397943	0.83397943	118.191247		
VOLUMEN VEHICULOS SEMANAL		272	280	404	40	376	104	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	4		
INDA		38.8574286	40	57.742857	5.7142857	53.7142857	14.8571429	1.4285714	1.4285714	1.4285714	1.4285714	1.4285714	1.4285714	1.4285714	1.4285714	1.4285714	1.4285714	1.4285714	1.4285714	1.4285714	1.4285714	1.4285714	1.4285714	1.4285714	217.74286		
		47.2582419	48.6488	70.1932686	6.94982857	65.3783886	18.0995443	1.38994571	1.38994571	1.38994571	1.38994571	1.38994571	1.38994571	1.38994571	1.38994571	1.38994571	1.38994571	1.38994571	1.38994571	1.38994571	1.38994571	1.38994571	1.38994571	1.38994571	204.255714		

ANALISIS GRANULOMETRICO

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO						
CALICATA C-1						
MALA	ABERTURA	PESO RETENIDO (KG)	% RETENIDO	% RETENIDO ACUMULADO	% PASANTE ACUMULADO	
	3"	= 76.2	= 0.000	0.00%	0.00%	100.00%
	2 1/2"	= 63.1	= 0.000	0.00%	0.00%	100.00%
	2"	= 50	= 0.000	0.00%	0.00%	100.00%
	1 1/2"	= 37.5	= 0.000	0.00%	0.00%	100.00%
	1"	= 25	= 0.117	2.06%	2.06%	97.94%
	3/4"	= 19	= 0.074	1.30%	3.36%	96.64%
	1/2"	= 12.5	= 0.141	2.48%	5.85%	94.15%
	3/8"	= 9.5	= 0.086	1.51%	7.36%	92.64%
	Nº4	= 4.75	= 0.335	5.90%	13.26%	86.74%
	Nº8	= 2.36	= 0.062	7.68%	20.95%	79.05%
	Nº10	= 2	= 0.020	2.48%	23.42%	76.58%
	Nº16	= 1.18	= 0.071	8.80%	32.22%	67.78%
	Nº30	= 0.6	= 0.114	14.13%	46.35%	53.65%
	Nº40	= 0.425	= 0.069	8.55%	54.90%	45.10%
	Nº50	= 0.3	= 0.066	8.18%	63.08%	36.92%
	Nº60	= 0.18	= 0.149	18.48%	81.54%	18.46%
	Nº100	= 0.15	= 0.054	6.69%	88.23%	11.77%
	Nº200	= 0.075	= 0.056	6.94%	95.17%	4.83%
	FONDO	= -	= 0.039	4.83%	100.00%	0.00%

	PESO RETENIDO	PORCENTAJE
MUESTRA TOTAL HUMEDA	6.218	-
MUESTRA TOTAL SECA	5.677	100%
MUESTRA GRUESA	0.753	13.26%
MUESTRA FINA	4.924	86.74%
TAMIZADO FINOS	0.700	-
	VALOR PORCENTAJE	VALOR DECIL
D10	10.000	0.125
D30	30.000	0.245
D50	50.000	0.530
D60	60.000	0.810
CU		6.480
CC		0.593

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO CALICATA C-2						
MALLA	ABERTURA		PESO RETENIDO (KG)	% RETENIDO	% RETENIDO ACUMULADO	% PASANTE ACUMULADO
3"	76.2	=	0.000	0.00%	0.00%	100.00%
2 1/2"	63.1	=	0.000	0.00%	0.00%	100.00%
2"	50	=	0.000	0.00%	0.00%	100.00%
1 1/2"	37.5	=	0.000	0.00%	0.00%	100.00%
1"	25	=	0.145	2.35%	2.35%	97.65%
3/4"	19	=	0.148	2.40%	4.75%	95.25%
1/2"	12.5	=	0.162	2.63%	7.38%	92.62%
3/8"	9.5	=	0.066	1.07%	8.45%	91.55%
Nº4	4.75	=	0.336	5.45%	13.89%	86.11%
Nº8	2.36	=	0.073	8.98%	22.87%	77.13%
Nº10	2	=	0.014	1.72%	24.60%	75.40%
Nº16	1.18	=	0.052	6.40%	30.99%	69.01%
Nº30	0.6	=	0.080	9.84%	40.83%	59.17%
Nº40	0.425	=	0.060	8.36%	49.20%	50.80%
Nº50	0.3	=	0.074	9.10%	58.30%	41.70%
Nº80	0.18	=	0.155	19.07%	77.37%	22.63%
Nº100	0.15	=	0.058	7.13%	84.50%	15.50%
Nº200	0.075	=	0.074	9.10%	93.60%	6.40%
FONDO	-	=	0.052	6.40%	100.00%	0.00%

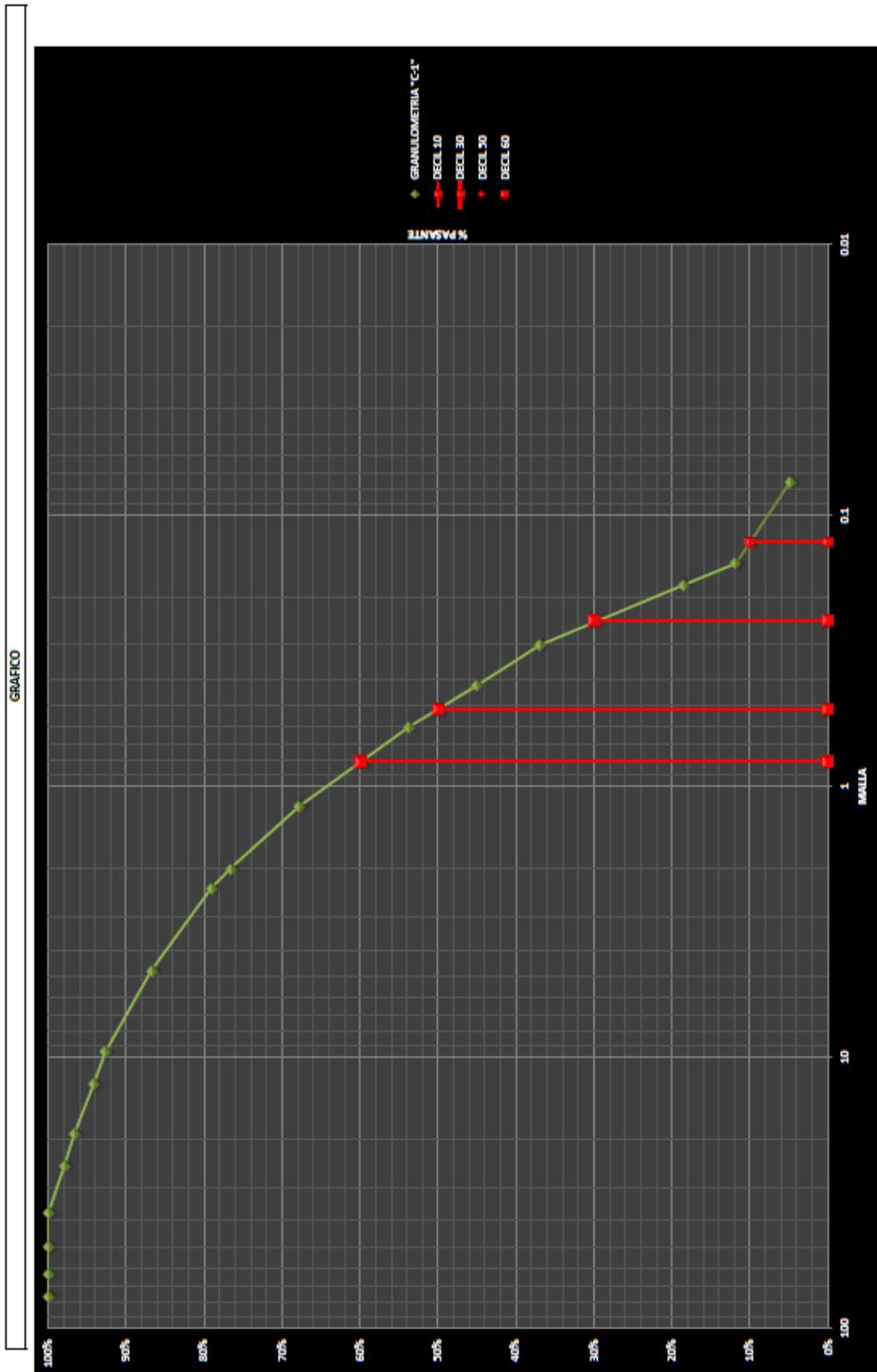
	PESO RETENIDO	PORCENTAJE
MUESTRA TOTAL HUMEDA	6.217	-
MUESTRA TOTAL SECA	6.168	100%
MUESTRA GRUESA	0.857	13.89%
MUESTRA FINA	5.311	86.11%
TAMIZADO FINOS	0.700	-
	VALOR PORCENTAJE	VALOR DECIL
D10	10.000	0.100
D30	30.000	0.220
D50	50.000	0.420
D60	60.000	0.660
CU	6.600	
CC	0.733	

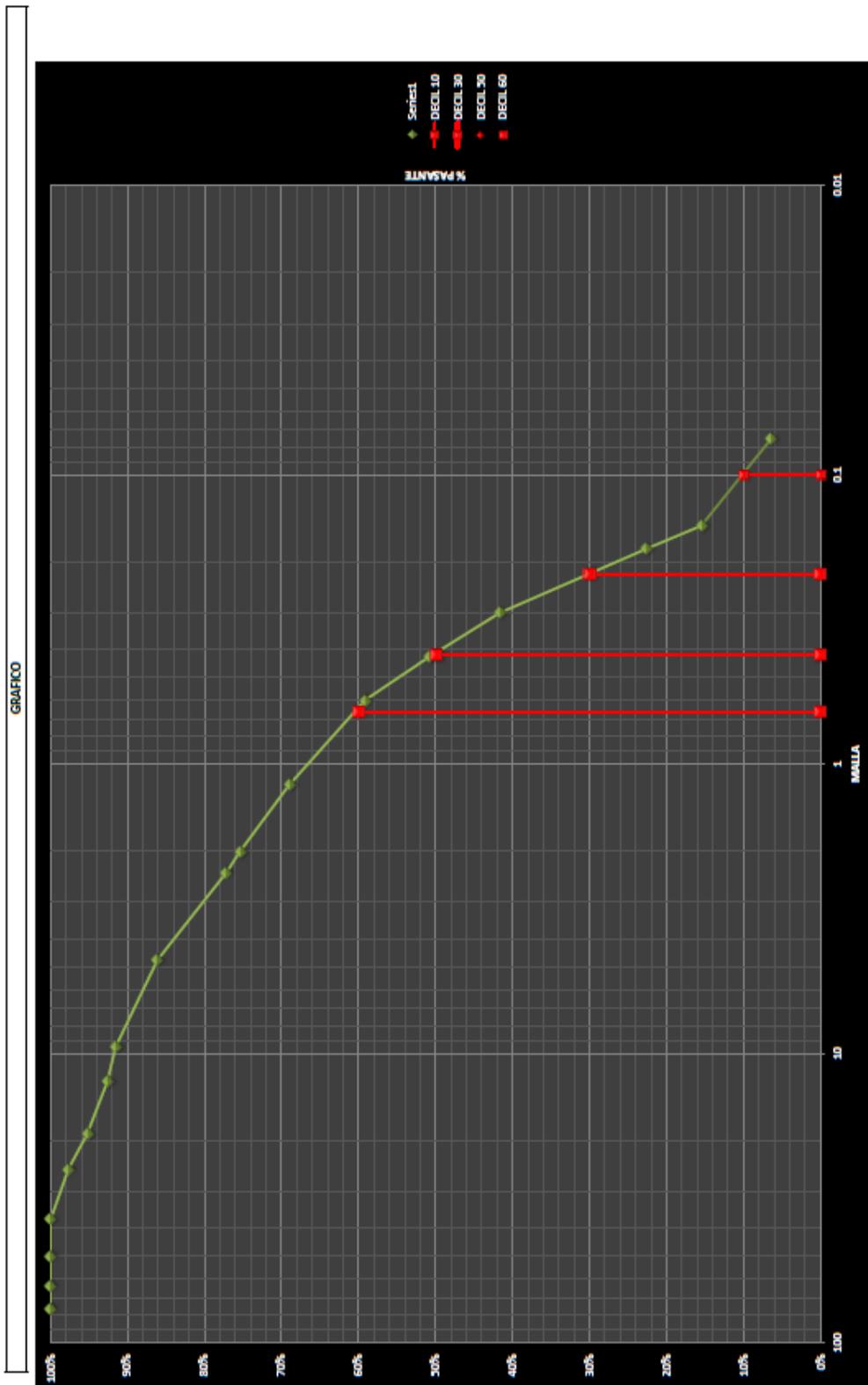
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO CALICATA C-3						
MALA	ABERTURA	PESO RETENIDO (KG)	% RETENIDO	% RETENIDO ACUMULADO	% PASANTE	
3"	76.2	=	0.00%	0.00%	100.00%	
2 1/2"	63.1	=	0.00%	0.00%	100.00%	
2"	50	=	0.00%	0.00%	100.00%	
1 1/2"	37.5	=	0.00%	0.00%	100.00%	
1"	25	=	1.83%	1.83%	98.17%	
3/4"	19	=	1.79%	3.62%	96.38%	
1/2"	12.5	=	3.57%	7.18%	92.82%	
3/8"	9.5	=	2.26%	9.44%	90.56%	
Nº4	4.75	=	9.22%	18.67%	81.33%	
Nº8	2.36	=	14.57%	33.24%	66.76%	
Nº10	2	=	4.10%	37.34%	62.66%	
Nº16	1.18	=	12.16%	49.50%	50.50%	
Nº30	0.6	=	13.86%	63.36%	36.64%	
Nº40	0.425	=	7.21%	70.58%	29.42%	
Nº50	0.3	=	6.51%	77.09%	22.91%	
Nº80	0.18	=	10.75%	87.84%	12.16%	
Nº100	0.15	=	2.97%	90.81%	9.19%	
Nº200	0.075	=	8.63%	99.43%	0.57%	
FONDO	-	=	0.004	100.00%	0.00%	

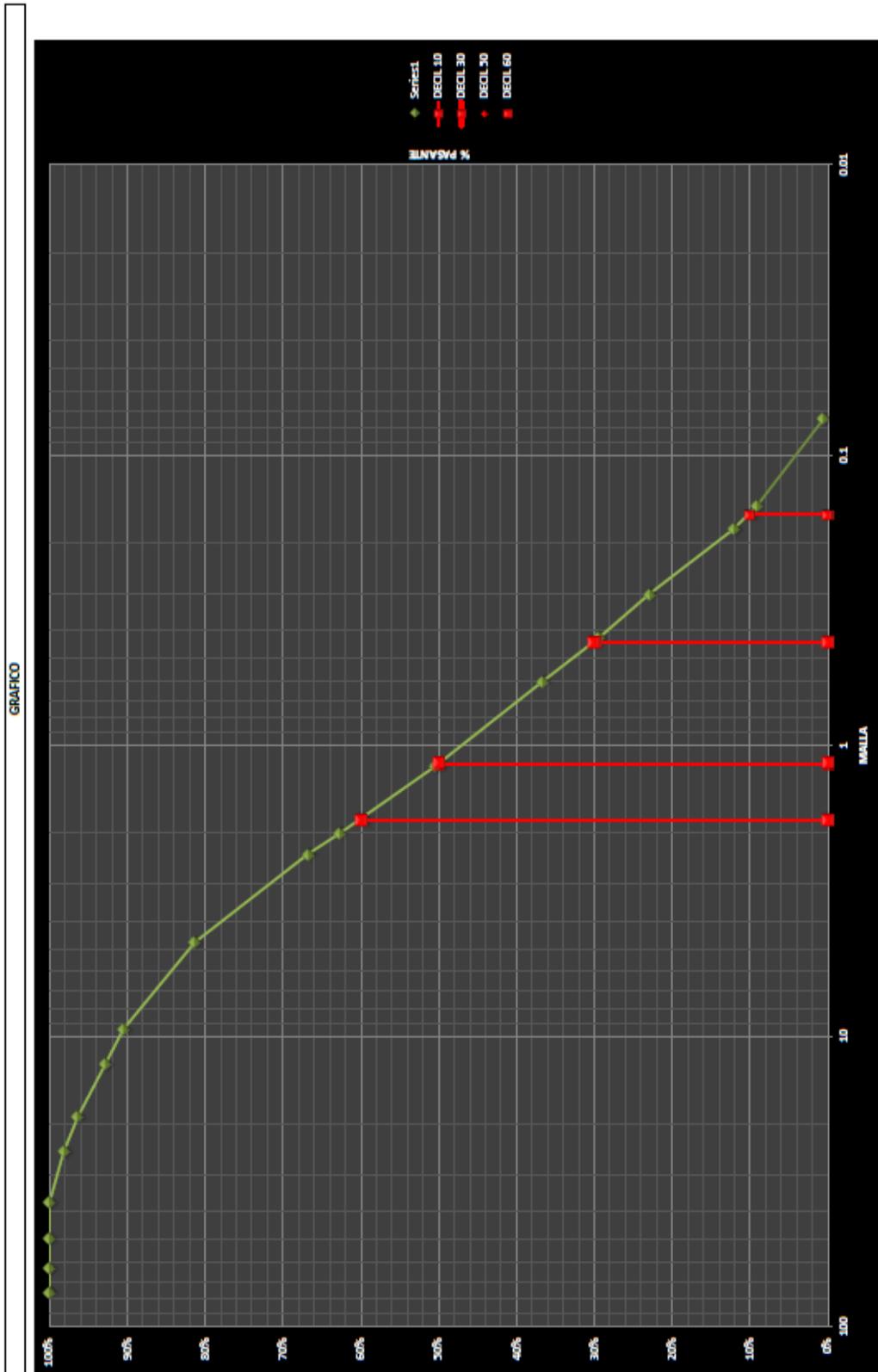
	PESO RETENIDO	PORCENTAJE
MUESTRA TOTAL HUMEDA	5.966	-
MUESTRA TOTAL SECA	5.834	100%
MUESTRA GRUESA	1.089	18.67%
MUESTRA FINA	4.745	81.33%
TAMIZADO FINOS	0.575	-
	VALOR PORCENTAJE	VALOR DECIL
D10	10.000	0.160
D30	30.000	0.440
D50	50.000	1.150
D60	60.000	1.800
CU		11.250
CC		0.672

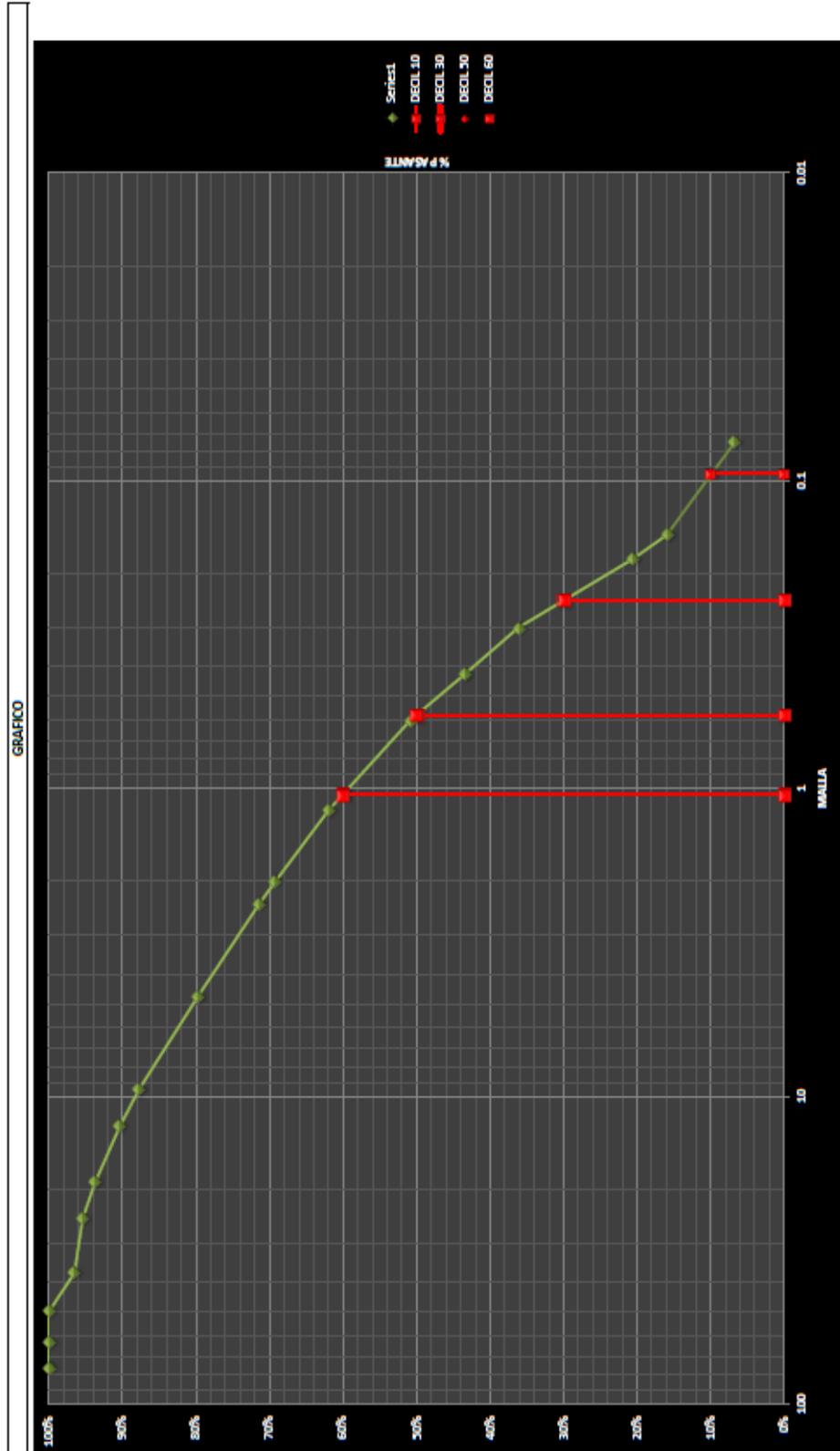
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO CALICATA C-4						
MALLA	ABERTURA		PESO RETENIDO (KG)	% RETENIDO	% RETENIDO ACUMULADO	% PASANTE
3"	76.2	=	0.000	0.00%	0.00%	100.00%
2 1/2"	63.1	=	0.000	0.00%	0.00%	100.00%
2"	50	=	0.000	0.00%	0.00%	100.00%
1 1/2"	37.5	=	0.205	3.45%	3.45%	96.55%
1"	25	=	0.067	1.13%	4.58%	95.42%
3/4"	19	=	0.102	1.72%	6.30%	93.70%
1/2"	12.5	=	0.200	3.37%	9.67%	90.33%
3/8"	9.5	=	0.152	2.58%	12.23%	87.77%
Nº4	4.75	=	0.474	7.98%	20.21%	79.79%
Nº8	2.36	=	0.074	8.43%	28.65%	71.35%
Nº10	2	=	0.019	2.17%	30.81%	69.19%
Nº16	1.18	=	0.063	7.18%	37.99%	62.01%
Nº30	0.6	=	0.098	11.17%	49.16%	50.84%
Nº40	0.425	=	0.065	7.41%	56.57%	43.43%
Nº50	0.3	=	0.064	7.29%	63.87%	36.13%
Nº80	0.18	=	0.136	15.50%	79.37%	20.63%
Nº100	0.15	=	0.041	4.67%	84.04%	15.96%
Nº200	0.075	=	0.081	9.23%	93.28%	6.72%
FONDO	-	=	0.059	6.72%	100.00%	0.00%

	PESO RETENIDO	PORCENTAJE
MUESTRA TOTAL HUMEDA	6.070	-
MUESTRA TOTAL SECA	5.937	100%
MUESTRA GRUESA	1.200	20.21%
MUESTRA FINA	4.737	79.79%
TAMIZADO FINOS	0.700	-
	VALOR PORCENTAJE	VALOR DECIL
D10	10.000	0.095
D30	30.000	0.245
D50	50.000	0.580
D60	60.000	1.050
CU		11.053
CC		0.602

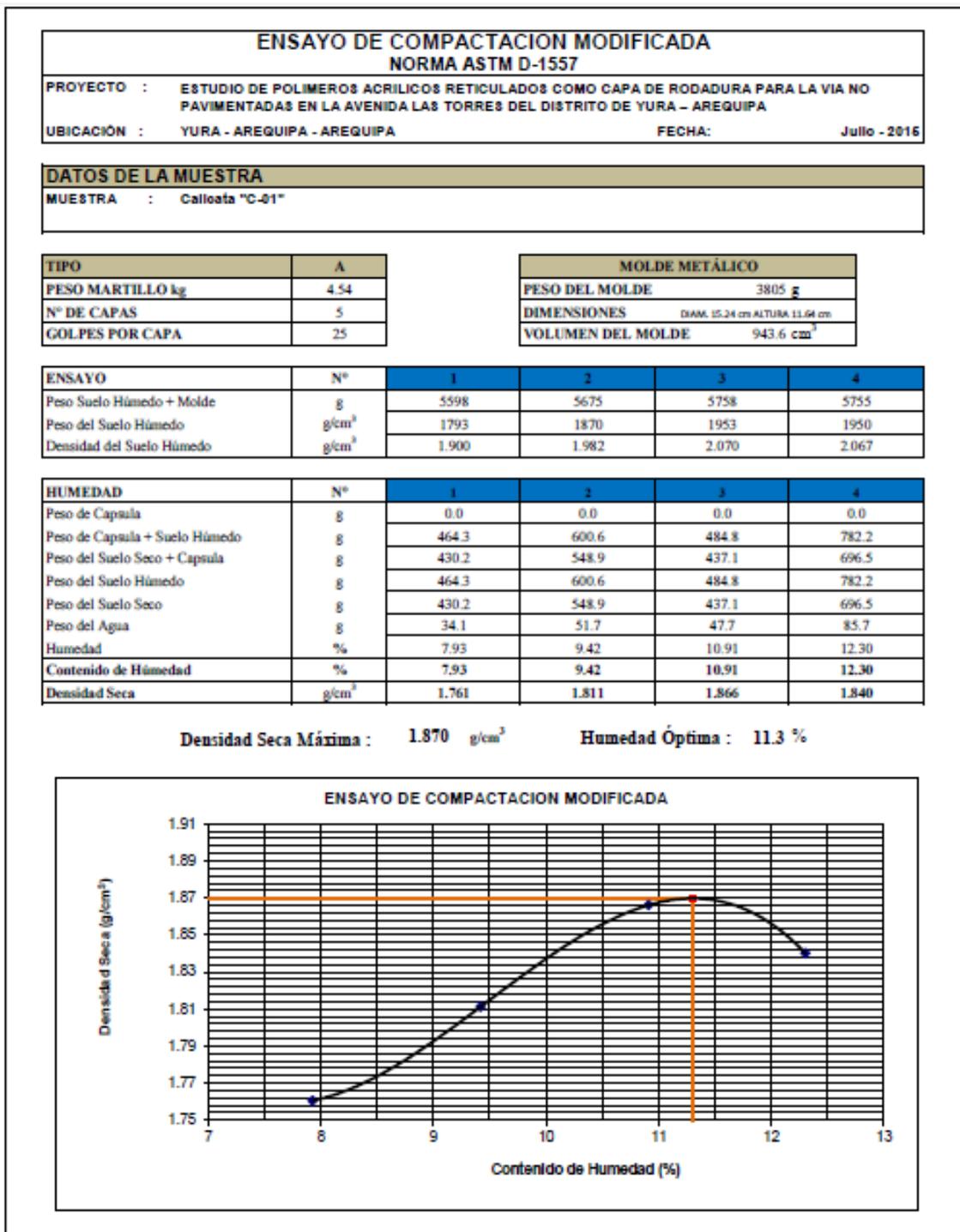


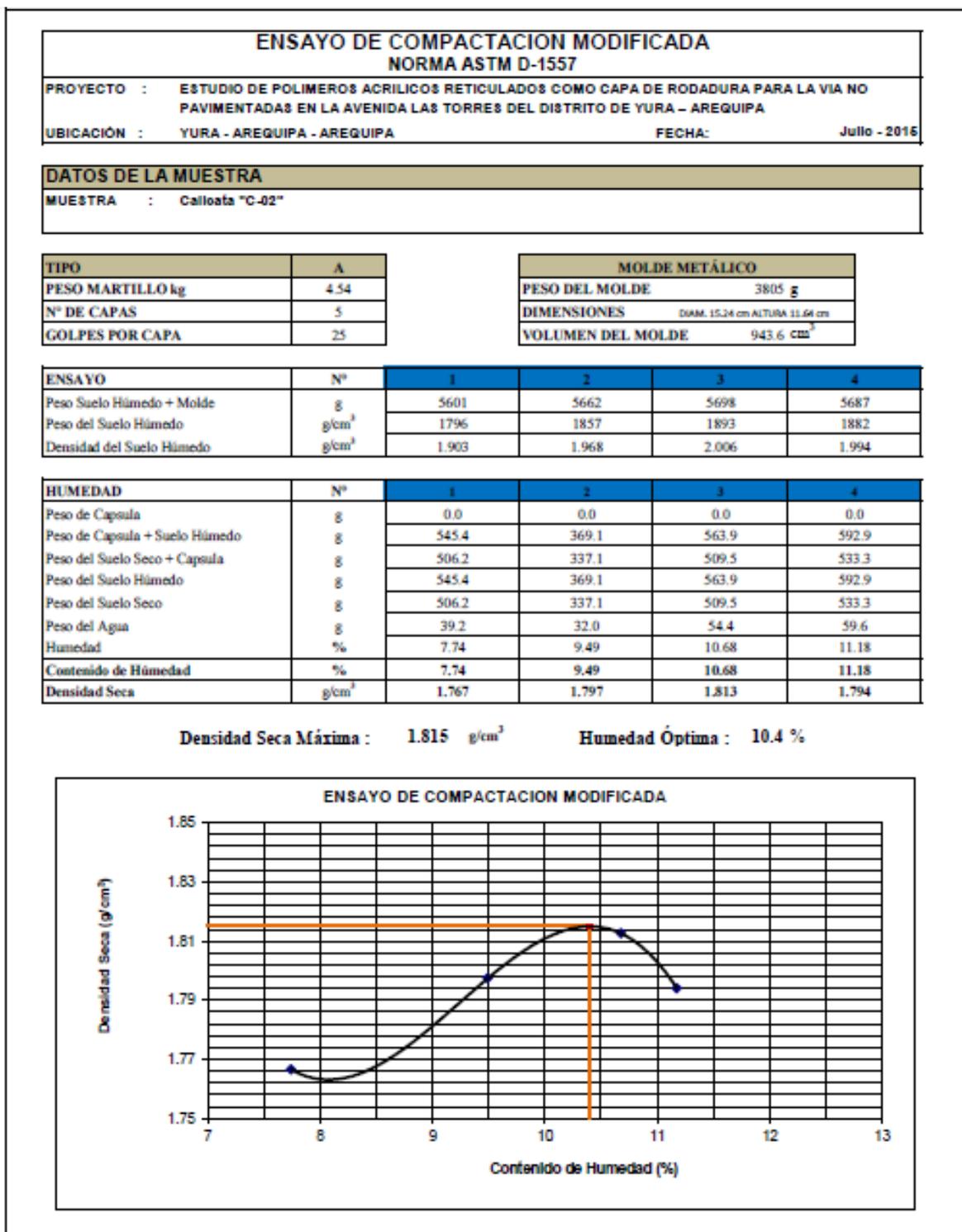


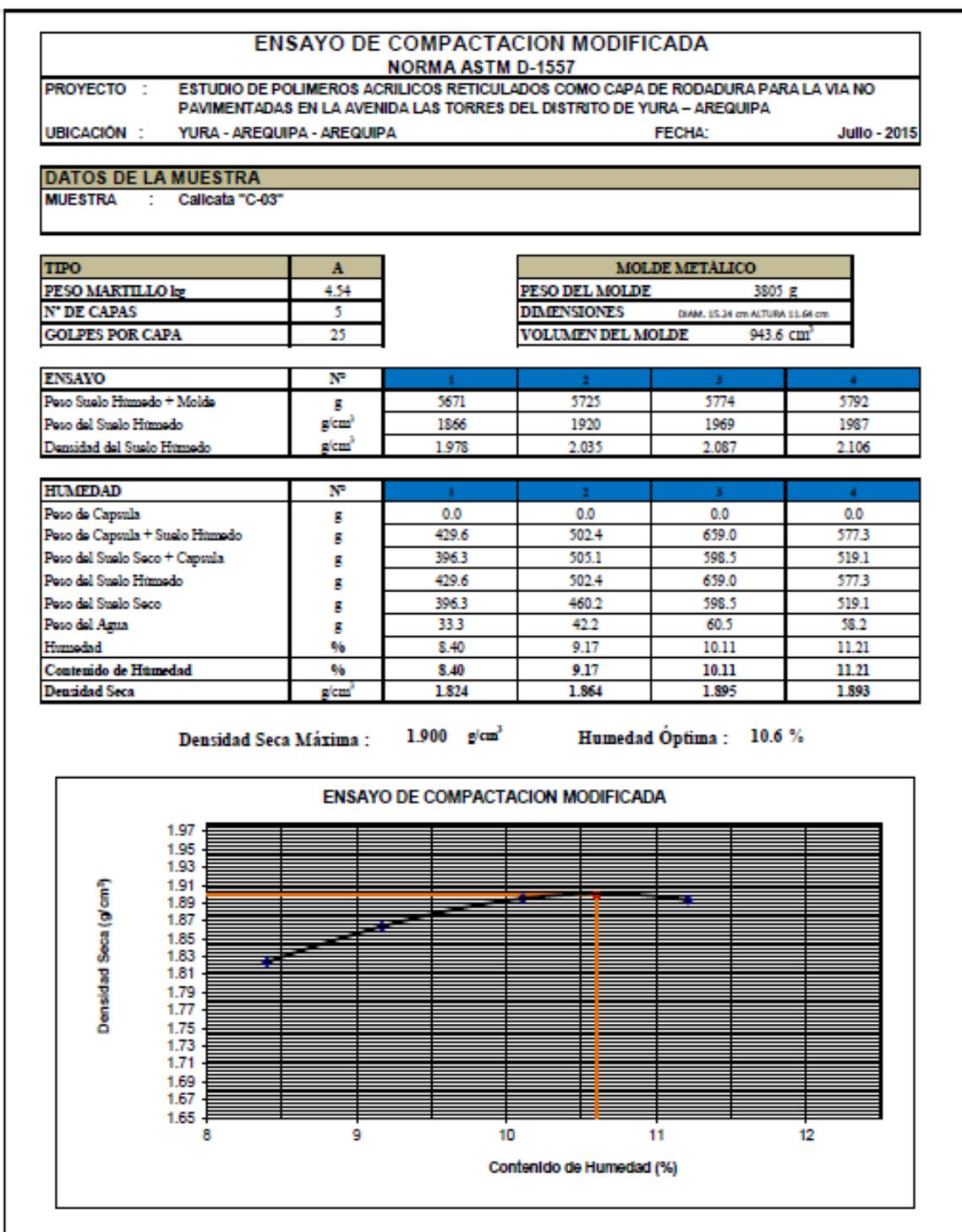


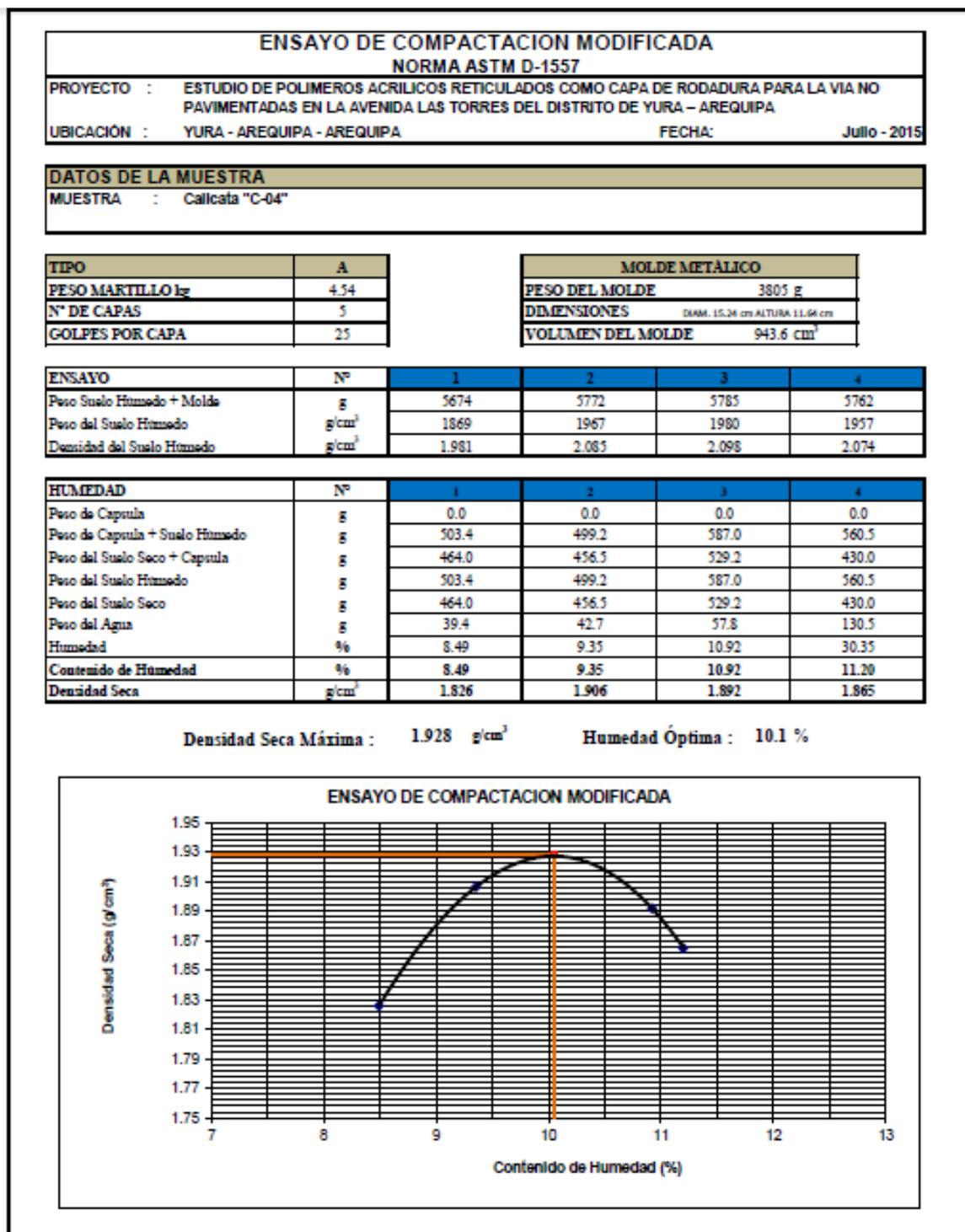


ENSAYO PROCTOR





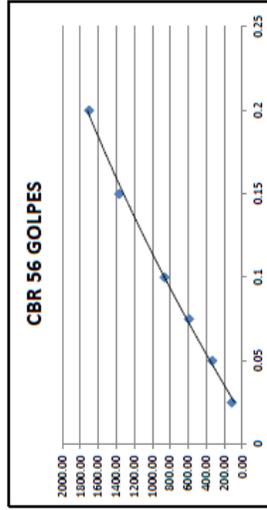
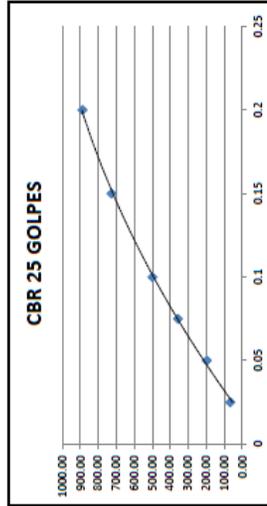
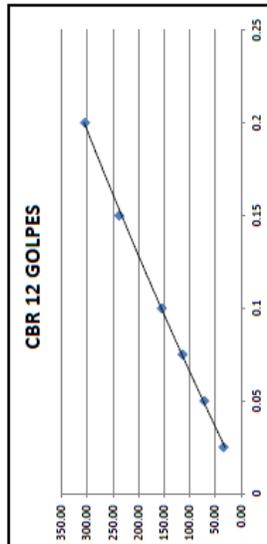




ENSAYO CBR

ENSAYO DE CALIFORNIA BEATING RATIO CBR PARA SUELO ESTABILIZADO CON POLIMERO

FENETRACION	TEMPO	12 GOLPES			25 GOLPES			56 GOLPES		
		TEMPO	CARGA	ESFUERZO	CARGA	ESFUERZO	CARGA	ESFUERZO		
mm	seg	Kg	Lbs	Lbs/pulg ²	Kg	Lbs	Lbs/pulg ²	Kg	Lbs	Lbs/pulg ²
0.025	30	46.3	102.07	34.02	89.2	196.65	65.55	156.1	344.14	114.71
0.05	60	97.3	214.51	71.50	267	588.63	196.21	451	994.27	331.42
0.075	90	154.9	341.49	113.83	485	1069.23	356.41	804.2	1772.94	590.95
0.1	120	210	462.97	164.32	679.2	1487.36	489.12	1173.1	2586.22	862.07
0.15	180	323.3	712.75	237.58	989.6	2181.67	727.22	1662.5	4106.07	1368.69
0.2	240	413.6	911.82	303.94	1209.6	2666.66	888.89	2320	5114.67	1704.89



DATOS Y CALCULOS DEL ENSAYO

Volumen del molde	=	2091.20	cm3
Peso del molde	=	8649.00	gramos
Peso molde + muestra normal	=	12344.00	gramos
Peso molde + muestra Saturada	=	12709.00	gramos
Peso humedo	=	587.00	gramos
Peso Seco	=	537.80	gramos
Cont. Humedad	=	9.15	%
Densidad Humeda	=	1.767	gramos/cm3
Densidad Seca	=	1.619	gramos/cm3
% CBR 25	=	15.43	%
% CBR 56	=	20.25	%

Volumen del molde	=	2096.70	cm3
Peso del molde	=	8626.00	gramos
Peso molde + muestra normal	=	12596.00	gramos
Peso molde + muestra Saturada	=	12815.00	gramos
Peso humedo	=	542.50	gramos
Peso Seco	=	494.70	gramos
Cont. Humedad	=	9.66	%
Densidad Humeda	=	1.893	gramos/cm3
Densidad Seca	=	1.727	gramos/cm3
% CBR 25	=	49.91	%
% CBR 56	=	59.25	%

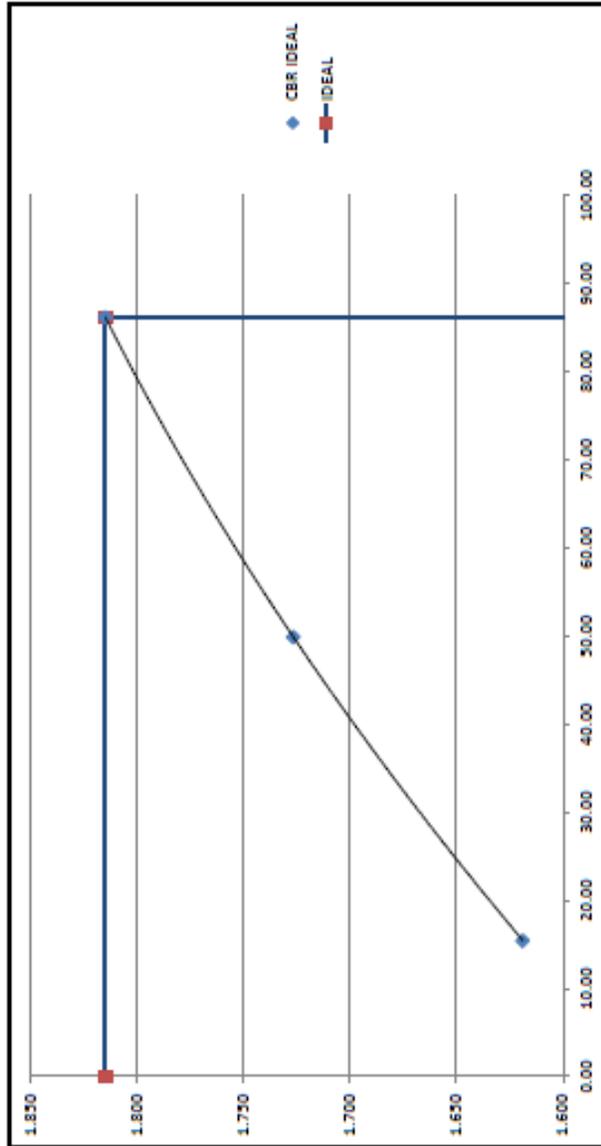
Volumen del molde	=	2099.50	cm3
Peso del molde	=	8721.00	gramos
Peso molde + muestra normal	=	12890.00	gramos
Peso molde + muestra Saturada	=	13025.00	gramos
Peso humedo	=	593.30	gramos
Peso Seco	=	539.60	gramos
Cont. Humedad	=	9.41	%
Densidad Humeda	=	1.966	gramos/cm3
Densidad Seca	=	1.815	gramos/cm3
% CBR 25	=	86.21	%
% CBR 56	=	113.66	%

EXPANSION DE LA MUESTRA	
5 min	= 0.01 mm
10 min	= 0.01 mm
1 DIA	= 0 mm
2 DIAS	= -0.01 mm
3 DIAS	= -0.01 mm
TOTAL	= -0.0157 %

EXPANSION DE LA MUESTRA	
5 min	= 0.02 mm
10 min	= 0.02 mm
1 DIA	= 0.02 mm
2 DIAS	= 0.03 mm
3 DIAS	= 0.025 mm
TOTAL	= 0.0039 %

EXPANSION DE LA MUESTRA	
5 min	= 0.02 mm
10 min	= 0.02 mm
1 DIA	= 0.02 mm
2 DIAS	= 0.02 mm
3 DIAS	= 0.01 mm
TOTAL	= -0.0079 %

GRAFICO CBR IDEAL

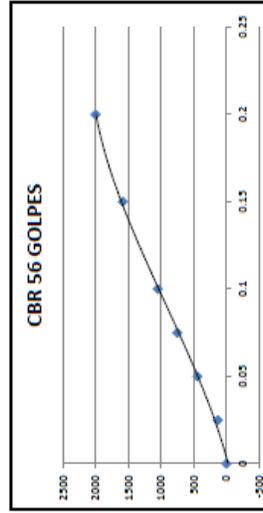
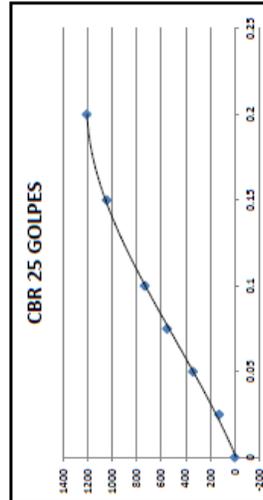
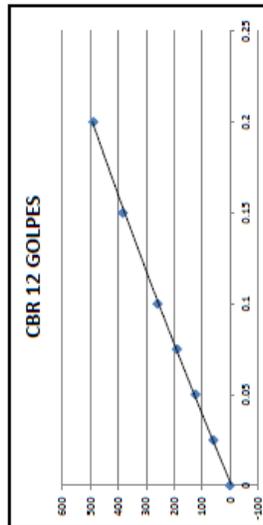


Densidad Seca Maxima = 1.815 gr/cm3

CBR ideal = 86 %

ENSAYO DE CALIFORNIA BEATING RATIO CBR PARA SUELO ESTABILIZADO CON POLIMERO.

PENETRACION pulg.	TIEMPO seg.	12 GOLPES			25 GOLPES			56 GOLPES		
		CARGA		EFUERZO	CARGA		EFUERZO	CARGA		EFUERZO
0		Kg	Lbs	Lbs/pulg ²	Kg	Lbs	Lbs/pulg ²	Kg	Lbs	Lbs/pulg ²
0.025	30	79.9	176.15	58.72	173	381.40	127.13	181	399.03	133.01
0.05	60	167.9	370.15	123.38	462.3	1019.19	339.73	604.2	1332.02	444.01
0.075	90	257.5	567.68	189.23	750.1	1653.67	551.22	1027.5	2265.23	755.08
0.1	120	352.1	776.24	258.75	999.2	2200.63	733.54	1439.8	3182.34	1051.45
0.15	180	521	1148.60	382.87	1420.3	3131.19	1043.73	2169	4759.73	1586.98
0.2	240	664.4	1464.74	488.25	1644	3624.36	1208.12	2729.5	6017.46	2005.82



DATOS Y CALCULOS DEL ENSAYO

Volumen del molde	=	2099.50	cm ³
Peso del molde	=	8721.00	gramos

Volumen del molde	=	2096.70	cm ³
Peso del molde	=	8626.00	gramos

Volumen del molde	=	2091.20	cm ³
Peso del molde	=	8644.00	gramos

Peso molde + muestra normal	=	12963.00	gramos
Peso molde + muestra Saturada	=	13095.00	gramos
Peso humedo	=	601.40	gramos
Peso Seco	=	543.90	gramos
Cont. Humedad	=	10.57	%
Densidad Humeda	=	2.020	gramos/cm ³
Densidad Seca	=	1.827	gramos/cm ³
% CBR 25	=	105.14	%
% CBR 56	=	133.72	%

Peso molde + muestra normal	=	12771.00	gramos
Peso molde + muestra Saturada	=	12869.00	gramos
Peso humedo	=	581.00	gramos
Peso Seco	=	526.50	gramos
Cont. Humedad	=	10.35	%
Densidad Humeda	=	1.977	gramos/cm ³
Densidad Seca	=	1.791	gramos/cm ³
% CBR 25	=	73.35	%
% CBR 56	=	80.54	%

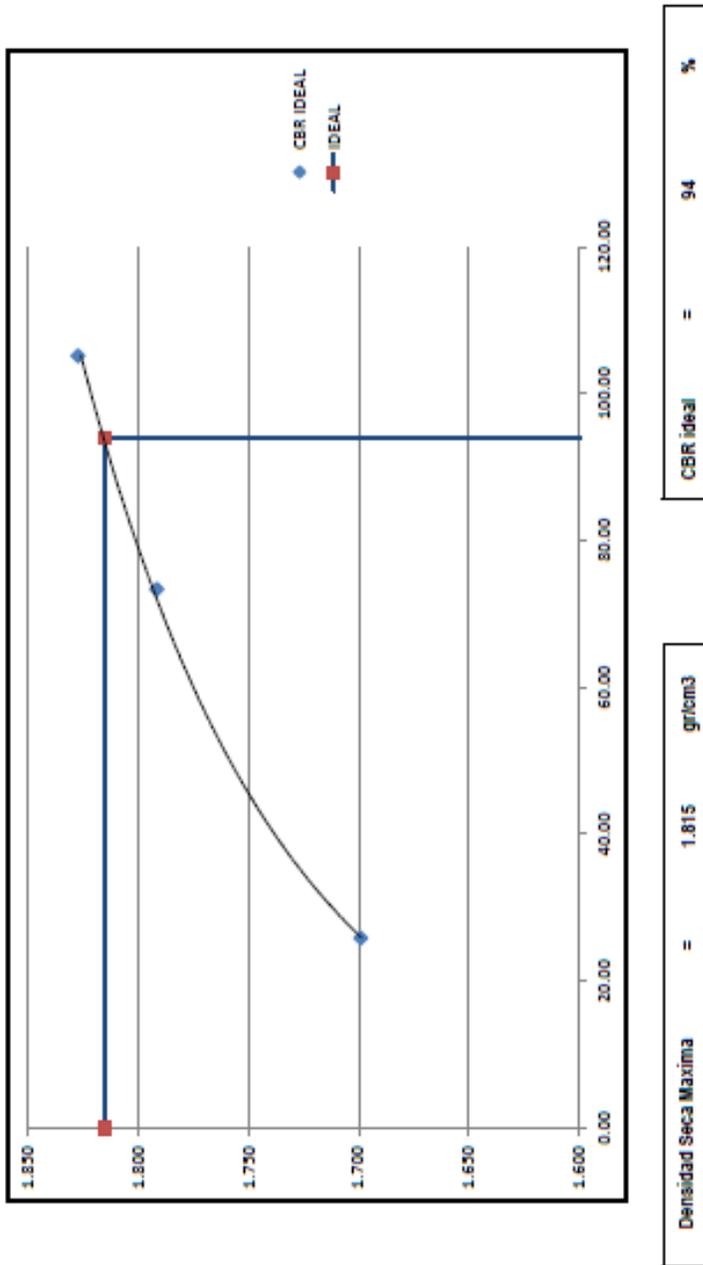
Peso molde + muestra normal	=	12565.00	gramos
Peso molde + muestra Saturada	=	12830.00	gramos
Peso humedo	=	570.50	gramos
Peso Seco	=	517.60	gramos
Cont. Humedad	=	10.22	%
Densidad Humeda	=	1.873	gramos/cm ³
Densidad Seca	=	1.699	gramos/cm ³
% CBR 25	=	25.87	%
% CBR 56	=	32.55	%

EXPANSION DE LA MUESTRA	
5 min	= 0 mm
10 min	= 0.005 mm
1 DIA	= 0.01 mm
2 DIAS	= 0.01 mm
3 DIAS	= 0.01 mm
TOTAL	= 0.0079 %

EXPANSION DE LA MUESTRA	
5 min	= 0 mm
10 min	= 0.005 mm
1 DIA	= 0.008 mm
2 DIAS	= 0.01 mm
3 DIAS	= 0.01 mm
TOTAL	= 0.0079 %

EXPANSION DE LA MUESTRA	
5 min	= 0 mm
10 min	= 0.005 mm
1 DIA	= 0.01 mm
2 DIAS	= 0.01 mm
3 DIAS	= 0.01 mm
TOTAL	= 0.0079 %

GRAFICO CBR IDEAL



DISEÑO DEL PAVIMENTO

DISEÑO DEL PAVIMENTO A NIVEL DE AFIRMADO USANDO EL METODO NAASRA

$$e = [219 - 211 * (\log_{10} CBR) + 58 * (\log_{10} CBR)^2] * \log\left(\frac{EE}{120}\right)$$

e = 75.6984269 mm
CBR = 86 %
EE = 62371.21 Ejes Equivalentes

e = 150 mm

Para el Suelo Normal

DISEÑO DEL PAVIMENTO A NIVEL DE AFIRMADO USANDO EL METODO NAASRA

$$e = [219 - 211 * (\log_{10} CBR) + 58 * (\log_{10} CBR)^2] * \log\left(\frac{EE}{120}\right)$$

e = 77.3394609 mm
CBR = 94 %
EE = 62371.21 Ejes Equivalentes

e = 150 mm

Para el Suelo con Polimero

MATRIZ DE LEOPOLD

Matriz de Leopold

Obra: PROYECTO DE TESIS "MEJORAMIENTO DE TRANSITABILIDAD VEHICULAR CON LA UTILIZACION DEL POLIMERO ACRILICO RETICULADO EN LA AVENIDA LAS TORRES DEL DISTRITO DE YURA"
 Alternativa: 02 Utilización de Asfalto
 Ubicación: YURA - AREQUIPA - AREQUIPA
 Fecha: Agosto - 2016

				ACTIVIDADES				POST CONSTRUCCION				
				EXCAVACIONES	ELIMINACION DE MATERIAL PROVENIENTE DE EXCAVACIONES	APLICACION DEL ASFALTO	FINADO DE SUPERFICIE MEDIANTE YUMPEZA FINAL	USO DEL PAVIMENTO	MANUTENCION DEL PAVIMENTO			
A. CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y QUÍMICAS	1. SUELO	a. Tasa de erosión	-5	-3	3	3	1	5	-2	3		
		b. Estructura	-5	-1	3	3	1	5	3	3		
		c. Fertilidad	-4	-3	3	-4	1	3	2	-1	1	
	2. AGUA	a. Turbidez	-2	-2	3	-2	-1	1	-1	-2	3	
		b. Toxicidad	-1	-3	3	-2	-1	1	-1	-2	1	
		a. Clima (micro, macro)	-2	-2	3	-4	1	3	3	-3	2	
	3. ATMÓSFERA	b. Temperature	-1	-2	3	-3	-1	3	3	-3	2	
		a. Calidad de aire	-5	-3	4	2	-2	1	4	-3	4	
		b. Generación de ruido	-5	-3	4	-5	-1	3	4	-4	3	
	B. CONDICIONES BIOLÓGICAS	1. FLORA	a. Estructura	-4	-2	3	-2	-1	2	3	-1	2
			b. Composición del paisaje	-4	-2	3	-2	-1	3	3	-1	1
			c. Habitat	-4	-2	3	-1	-1	1	2	-1	1
d. Especies en extinción			-2	-1	1	-1	-1	1	-1	-1	1	
2. FAUNA		a. Variedad de especies	-2	-2	3	-2	-1	1	-1	-1	1	
		b. Habitat	-2	-2	3	-2	-1	1	-1	-1	1	
		c. Especies en extinción	-1	-1	1	-2	-1	1	-1	-1	1	
		a. Naturaleza y especies abióticas	-4	-2	3	-2	-1	3	3	-4	3	
C. FACTORES CULTURALES		1. USOS DEL SUELO	b. Agricultura	-1	-2	3	-3	-1	1	-1	-1	1
			c. Residencial	-1	-4	4	6	3	5	5	-3	2
			d. Comercial	-3	-4	5	4	3	7	6	-3	3
			a. Generación de empleo	4	3	5	2	5	6	4	3	3
	2. ECONOMÍA	b. Ingresos Propios	-2	-2	3	-2	-1	4	4	2	2	
		a. Centro histórico	-1	-1	1	-1	-1	1	1	-1	1	
	3. ESTADIOS CULTURAL	b. lugar arqueológico	-1	-1	1	1	1	1	1	-1	1	
		c. modificación de costumbres	-4	-3	5	3	3	3	3	-3	3	

Matriz de Leopold

Obra: PROYECTO DE TESIS "MEJORAMIENTO DE TRANSITABILIDAD VEHICULAR CON LA UTILIZACION DEL POLIMERO ACRILICO RETICULADO EN LA AVENIDA LAS TORRES DEL DISTRITO DE YURA"
 Alternativa: 02 Utilización del Polímero Acrílico Reticulado
 Ubicación: YURA - AREQUIPA - AREQUIPA
 Fecha: Agosto - 2016

			ACTIVIDADES DURANTE LA CONSTRUCCION				POST CONSTRUCCION			
			EXCAVACIONES Y ESCARIFICACION DE LA SUPERFICIE	ELIMINACION DE MATERIAL PROVENIENTE DE EXCAVACIONES	APLICACION DEL POLIMERO ACRILICO RETICULADO	PINTADO DE SUPERFICIE MEJORADA Y LIMPIEZA FINAL	USO DEL PAVIMENTO	MANTENIMIENTO DEL PAVIMENTO		
A. CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y QUÍMICAS	1. SUELO	a. Tasa de erosión	-2	3	2	1	4	2	3	
		b. Estructura	-3	3	3	1	4	3	3	
		c. Fertilidad	-4	3	-2	1	-1	-1	1	
	2. AGUA	a. Turbidez	-1	2	2	-1	1	1	1	
		b. Toxicidad	-1	-3	-1	-1	-1	-1	-1	
	3. ATMÓSFERA	a. Clima (micro, macro)	-2	2	-2	1	3	-1	1	
		b. Temperatura	-1	2	3	1	2	3	1	
	4. AIRE	a. Calidad de aire	-3	4	4	5	4	5	2	
		b. Generación de ruido	-3	4	-3	-1	3	4	2	
	B. CONDICIONES BIOLÓGICAS	1. Flora	a. Estructura	-3	-2	-2	-1	2	-1	2
			b. Composición del paisaje	-3	3	-2	-1	3	-1	1
			c. Hábitat	-3	2	-1	-1	-1	-1	1
d. Especies en extinción			-2	1	1	1	1	1	1	
2. Fauna		a. Variedad de especies	-2	3	-2	-1	-1	-1	1	
		b. Hábitat	-2	2	-2	-1	-1	-1	1	
C. FACTORES CULTURALES	1. USO DEL SUELO	a. Naturaleza y espacios abiertos	-3	-3	-1	-1	3	-3	2	
		b. Agricultura	-1	2	2	-1	1	1	1	
		c. Residencial	-1	4	6	3	5	4	2	
		d. Comercial	-3	3	4	3	6	5	2	
	2. ECONOMÍA	a. Generación de empleo	4	3	5	2	5	3	3	
		b. Ingresos Propios	-2	4	3	4	2	6	2	
	3. ESPERANZAS CULTURALES	a. Centro histórico	-1	-1	1	-1	1	1	1	
		b. lugar arqueológico	-1	1	1	-1	1	1	1	
		c. modificación de costumbres	a.	-4	-3	5	3	3	-1	2
			b.	3	3	4	3	3	3	2

BIBLIOGRAFIA

- ✓ Menéndez Acurio, José Rafael. *Ingeniería de pavimentos, Tomo 1 y Tomo 2*, 2012.
- ✓ Carreteras. Disponible en : <http://aggrebind.com/es/acerca-de-aggrebind/carreteras/>
- ✓ Ministerio de Transportes y Comunicaciones, *Manual de diseño para carreteras no pavimentadas de bajo volumen de tránsito*. Lima, Marzo 2008.
- ✓ Montejo Fonseca, Alfonso .*Ingeniería de pavimentos para carreteras.2da.ed.*Bogota: Agora Editores, 2002.
- ✓ Universidad Mayor de San Simón. *Pavimentos Texto Guía. 1ra.ed.*Cochabamba, 2004.
- ✓ Universidad Mayor de San Simón. *Ingeniería de Trafico Texto Guía. 1ra.ed.*Cochcabamba. Febrero, 2004
- ✓ Tapia Arandia, Juan Gabriel. Veizaga Balta, Romel Daniel. *Apoyo Didáctico Para la Enseñanza y Aprendizaje de La Asignatura de Ingeniería de Tráfico*. 1er.ed.Cochcabamba, 2006.
- ✓ Bowles, E. Joseph. “*Manual de laboratorio en Ingeniería civil*”, Editorial Ate. McGraw Hill. 1981
- ✓ Braja M. Das, *Fundamentos de Ingeniería Geotecnia*.
- ✓ Ministerio de Transportes y Comunicaciones .*Manual De Ensayos De Materiales Para Carreteras (EM-2000)*.