

**UNIVERSIDAD SAN PEDRO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**



**Capacidad de soporte al estabilizar el suelo de la Vía Cascajal  
con adición de carbón y cal a nivel de sub rasante**

**Tesis para obtener el título profesional de ingeniero civil**

**Autor**

Vásquez Cabrera, Alexander Mauricio

**Asesor**

Flores Reyes, Gumercindo

Chimbote – Perú

2018

**PALABRAS CLAVE:**

---

<b>Tema</b>	Estabilización de Suelos
<b>Especialidad</b>	Pavimentos

---

**KEY WORDS:**

---

<b>Topic</b>	Soil stabilization
<b>Specialization</b>	Pavements

---

**LINEA DE INVESTIGACIÓN:**

---

PROGRAMA	Ingeniería Civil
Linea de Investigación	Construcción y Gestión de la construcción
OCDE	Ingeniería y tecnología Ingeniería Civil Ingeniería de la Construcción
Campo de Investigación	Materiales de la Construcción Tecnología de la Construcción y Procesos Constructivos

---

**“CAPACIDAD DE SOPORTE AL ESTABILIZAR EL SUELO DE  
LA VIA CASCAJAL CON ADICION DE CARBON Y CAL A  
NIVEL DE SUB RASANTE”**

## RESUMEN

La vía Cascajal Km15 a Km16 ubicada en la provincia del Santa -Ancash se caracteriza por ser de un suelo agrícola, el cual demanda de un mejoramiento en sus carreteras para poder ejecutarse una pavimentación de sus calles, por ello se centró nuestro objetivo en evaluar el efecto del carbón mineral y la cal como estabilizante de una subrasante de suelo limoso para el mejoramiento de sus propiedades físicas y mecánicas mediante procedimientos normados.

El carbón mineral que se utilizó en esta tesis corresponde a un producto extraído de la cantera “La Galgada”, el cual activamos mecánicamente para reducir el tamaño de la piedra y de tal manera pueda mezclarse con el suelo y la cal. Se trabajó con porcentajes de 7% de carbón mineral y 4% de cal, en peso de la muestra de suelo a evaluar ejecutando los ensayos de acuerdo a procedimientos normados con el control de los técnicos del Laboratorio de Mecánica de Suelos de la Universidad San Pedro.

Como resultado final se obtuvo que las calicatas N°01, N°02 y N°03 tienen un tipo de suelo limoso(A-4) según su clasificación AASHTO y su correlación en la clasificación SUCS es del tipo ML (Limo baja plasticidad arenoso).

Se realizó el California Bearing Ratio(CBR) para las tres calicatas obteniendo un valor de CBR Patrón al 100% de 16.2% y adicionando 7% de carbón y 4% de cal al 100% de 29.0% en la calicata N°01, en la calicata N°02 se obtuvo un valor de CBR Patrón al 100% de 15.4% y adicionando 7% de carbón y 4% de cal al 100% de 35.3% y en la calicata N°03 se obtuvo un valor de CBR Patrón al 100% de 14.0% y adicionando 7% de carbón y 4% de cal al 100% de 32.2%

La adición de 7% de carbón y 4% de cal, logra estabilizar el suelo limoso de la subrasante de la Vía Cascajal Km15 a Km16.

## **ABSTRACT**

The road Cascajal Km15 to Km16 located in the province of Santa-Ancash is defined by being an agricultural land, which is a better service in its streets to be able to execute a paving of its streets, therefore we focus our objective in evaluating the effect of mineral coal and lime as a stabilizer of a subgrade of silty soil for the improvement of its physical and mechanical properties through regulated procedures.

The mineral coal used in this thesis becomes a product extracted from the "La Galgada" quarry, which is activated mechanically to reduce the size of the stone and can be mixed with the soil and lime. They have been realized with percentages of 7% of mineral coal and 4% of weight, in weight of the soil sample to evaluate and execute the tests in accordance with the normative standards with the control of the technicians of the Laboratory of Soil Mechanics of the San Pedro University.

As a final result it was obtained that pits No. 01, No. 02 and No. 03 have a type of silty soil (A-4) according to their AASHTO classification and their correlation in the SUCS classification is of the ML type (Low sandy plasticity loam). The California Bearing Ratio (CBR) was carried out for the three test pits, obtaining a 100% CBR Standard value of 16.2% and adding 7% carbon and 4% 100% calcium of 29.0% in chain No. 01, in Pitch No. 02 obtained a 100% CBR Standard value of 15.4% and adding 7% carbon and 4% heat to 100% of 35.3% and in Chain No. 03 a CBR Standard value was obtained 100% of 14.0% and adding 7% of coal and 4% of lime to 100% of 32.2%

The addition of 7% of coal and 4% of lime, was able to stabilize the silty soil of the subgrade of Vía de Cascajal Km15 to Km16.

## INDICE

Tema	Pagina N°
Palabras Claves-Línea de Investigación.....	i
Título de investigación.....	ii
Resumen.....	iii
Abstract.....	iv
Índice.....	v
Introducción.....	1
Metodología.....	20
Resultados.....	28
Análisis y Discusión.....	45
Conclusiones.....	51
Recomendaciones.....	52
Agradecimiento.....	53
Referencias Bibliográficas.....	54
Anexos y Apéndice	
Anexo N°1: Análisis de Composición Química del carbón.....	57
Anexo N°2: Análisis de Composición Química de la cal.....	62
Anexo N°3: Ensayos de Laboratorio.....	66
Anexo N°4: Ubicación Geográfica.....	89
Anexo N°5: Prueba T Student.....	92
Anexo N°6: Perfil Estratigráfico.....	106
Anexo N°7: Panel Fotográfico.....	109

## Índice de Tablas

Tabla N°1: Adición de cal.....	1
Tabla N°2: Número de calicatas para exploración de suelos.....	5
Tabla N°3: Composición química de cenizas de carbón expresada como óxidos.....	7
Tabla N°4: Composición química de cenizas de carbón expresada como elementos.....	7
Tabla N°5: Características generales de los carbones en el Perú.....	9
Tabla N°6: Ubicación de las minas de carbón mineral, distancias y tiempos de viaje .....	10
Tabla N°7: Clasificación de suelos según tamaño de partículas.....	13
Tabla N°8: categoría de Sub rasante según CBR.....	14
Tabla N°9: Técnicas de recolección de la información.....	23
Tabla N°10: Composición química de Carbón Mineral expresada como óxidos.....	28
Tabla N°11: Composición química de Cal expresada como óxidos.....	29
Tabla N°12: Cuadro Resumen del Análisis Granulométrico de la calicata N°01.....	30
Tabla N°13: Cuadro Resumen del Análisis Granulométrico de la calicata N°02.....	31
Tabla N°14: Cuadro Resumen del Análisis Granulométrico de la calicata N°03.....	32
Tabla N°15: Proctor Modificado Patrón de la Calicata N°01.....	33
Tabla N°16: Proctor Modificado Experimental de la Calicata N°01.....	34
Tabla N°17: Proctor Modificado Patrón de la Calicata N°02.....	36
Tabla N°18: Proctor Modificado Experimental de la Calicata N°02.....	36
Tabla N°19: Proctor Modificado Patrón de la Calicata N°03.....	37
Tabla N°20: Proctor Modificado Experimental de la Calicata N°03.....	38
Tabla N°21 Contenido de Humedad Patrón de la Calicata N°01.....	39
Tabla N°22 Contenido de Humedad Experimental de la Calicata N°01.....	39
Tabla N°23 Contenido de Humedad Patrón de la Calicata N°02.....	39
Tabla N°24 Contenido de Humedad Experimental de la Calicata N°02.....	40
Tabla N°25 Contenido de Humedad Patrón de la Calicata N°03.....	40
Tabla N°26 Contenido de Humedad Experimental de la Calicata N°03.....	40
Tabla N°27 Cuadro Resumen del Ensayo de CBR para diferentes energías de	

compactación y diferentes porcentajes de cal y carbón adicionados en la calicata N°01 .....	41
Tabla N°28 Cuadro Resumen del Ensayo de CBR para diferentes energías de compactación y diferentes porcentajes de cal y carbón adicionados en la calicata N°02.....	41
Tabla N°29 Cuadro Resumen del Ensayo de CBR para diferentes energías de compactación y diferentes porcentajes de cal y carbón adicionados en la calicata N°03.....	41
Tabla N°30 Capacidad de Soporte a 2.54mm de penetración de calicata N°01.....	42
Tabla N°31 Capacidad de Soporte a 2.54mm de penetración de calicata N°02.....	42
Tabla N°32 Capacidad de Soporte a 2.54mm de penetración de calicata N°03.....	42
Tabla N°33 CBR (95% M.D.S.) según adición de carbón (7%) y cal (4%).....	43
Tabla N°34 CBR (100% M.D.S.) según adición de carbón (7%) y cal (4%).....	44

### **Índice de Gráficos**

Grafico N°1: Curva Granulométrica de la calicata N°01.....	30
Grafico N°2: Curva Granulométrica de la calicata N°02.....	31
Grafico N°3: Curva Granulométrica de la calicata N°03.....	32
Grafico N°4: Curva Densidad Seca Vs Contenido de Humedad Patrón de la Calicata N°01.....	33
Grafico N°5: Curva Densidad Seca Vs Contenido de Humedad Experimental de la Calicata N°01.....	34
Grafico N°6: Curva Densidad Seca Vs Contenido de Humedad Patrón de la Calicata N°02.....	35
Grafico N°7: Curva Densidad Seca Vs Contenido de Humedad Experimental de la Calicata N°02.....	36
Grafico N°8: Curva Densidad Seca Vs Contenido de Humedad Experimental de la Calicata N°03.....	37
Grafico N°9: Curva Densidad Seca Vs Contenido de Humedad Patrón de la Calicata N°03.....	38

## I. INTRODUCCIÓN

De los antecedentes encontrados se ha abordado los trabajos más relevantes a esta investigación de nivel internacional tenemos la investigación del Congreso de Infraestructura de transporte **Coninfra (2009)** desarrollaron el tema de “Estabilización de suelos con cemento portland y cal hidratada en pavimentos de la región amazónica del Perú”.

El objetivo de este estudio es evaluar el uso de la cal como material alternativo para la estabilización de suelos arcillosos de la región amazónica del Perú.

En el Perú la estabilización de suelos arcillosos con cal esta fundamentalmente centrado en la selva amazónica por contar con una gran variedad de suelos arcillosos y con alto contenido de humedad. En el tercer congreso internacional realizado en Sao Paulo, Brasil, de infraestructura de transportes presentaron una estabilización de una sub rasante de suelo arcilloso con cal, obteniendo los siguientes resultados como se muestra en la tabla siguiente.

**Tabla N°01** Adición de cal

% Cal	Pasa N°20 0	L.L.	I.P.	Clasificación		Max. Dens.	Hum. Opt.	CBR al 95% MDS 0.1"	Comp. No Conf (28d)(Mpa )
				Aashto	Sucs				
0.00	36.70	29.40	40.20	A-4(0)	SC	1.95	13.30	23.00%	-
2.00	38.60	30.60	7.40	A-4(1)	SM	1.92	13.70	54.00%	1.55
3.00	39.20	31.20	5.00	A-4(1)	SM	1.90	14.20	75.00%	1.97
4.00	39.20	31.20	5.00	A-4(1)	SM	1.90	14.20	82.50%	2.22
5.00	40.40	32.20	2.00	A-4(1)	SM	1.89	14.50	90.00%	2.24
6.00	41.00	30.10	3.90	A-4(1)	SM	1.87	14.70	69.00%	2.1

Fuente: Coninfra 2009

En las investigaciones de **Acosta y Benson (2003)** en el informe de Geo-Ingeniería No. 03-03 de la Universidad de Wisconsin, Madison-EE.UU. “Estabilización de Suelos y Secado usando Cenizas Volantes”.

El objetivo de este estudio fue analizar el efecto de la ceniza volante derivado de la combustión de carbón sub-bituminoso en las plantas de energía eléctrica en la

estabilización de suaves suelos de grano fino rojo. El coeficiente de carga de california (CBR) y otros ensayos de propiedades de resistencia se llevaron a cabo en el suelo. Sobre la base de los datos acumulados de la investigación anterior se han realizado las siguientes conclusiones.

- El suelo rojo prestado tiene una capacidad de soporte de 10 kg / mm<sup>2</sup>.
- El suelo rojo estabilizado con 6% de ceniza volante alcanza una capacidad de carga de 35 kg / mm<sup>2</sup>.

Asi mismo revisamos los antecedentes nacionales como de **Vásquez (2017)** en la tesis de investigación: “Capacidad de soporte en vía de bajo volumen de transito con adición de cenizas de carbón a nivel de sub rasante”

Esta investigación se encarga de estudiar el comportamiento que produce la adición de cenizas de carbón mineral en un suelo limoso para ser utilizado como capa sub rasante.

La investigación concluye que al adicionarse cenizas de carbón mineral en un 7% al suelo limoso este mejora su capacidad de soporte al 100% de la MDS en la calicata C-01 de 13.2% a 23.4% y en la calicata C-02 de 10.0% a 25.1% y mejora su capacidad de soporte al 95% de la MDS en la calicata C-01 de 8.3% a 13.0% y en la calicata C-02 de 7.4% a 12.7%.

Por otro lado en la investigacion de **Morales (2016)** en la tesis de investigación: “Resistencia al Corte de un suelo arcilloso a nivel de sub rasante sustituyendo 10 % por cenizas de Carbón mineral en el tramo Cabana – Huandoval”

Esta investigación se encarga de estudiar el comportamiento que produce la adición de cenizas de carbón mineral en un suelo arcilloso para ser utilizado como capa sub rasante. La investigación concluye que al adicionarse cenizas de carbón mineral al suelo arcilloso este mejora su resistencia al corte.

Asi mismo se recopilo los antecedentes de **Jara (2014)** en la tesis de investigación: “Efecto de la cal como estabilizante de una sub rasante de suelo arcilloso”.

Esta investigación se encarga de estudiar el comportamiento que produce la adición de cal en un suelo arcilloso para ser utilizado como sub rasante.

La investigación tiene como resultado que la adición de cal al 4% es la óptima para estabilizar sub rasante.

## **FUNDAMENTACION CIENTIFICA:**

### **MECANICA DE SUELOS:**

El Dr. Karl Terzaghi definió a la Mecánica de Suelos como la aplicación de las leyes de mecánica y la hidráulica a los problemas de ingeniería que tratan con sedimentos y otras acumulaciones no consolidadas de partículas sólidas, producto de la desintegración química y mecánica de las rocas. **Villalaz (2004).**

### **ESTABILIZACION DE SUELOS:**

La estabilización de suelos se define como el mejoramiento de las propiedades físicas de un suelo a través de procedimientos mecánicos e incorporación de productos químicos, naturales o sintéticos. Tales estabilizaciones, por lo general se realizan en los suelos de sub rasante inadecuado o pobre, en este caso son conocidas como estabilización suelo cemento, suelo cal, suelo asfalto y otros productos diversos. En cambio cuando se estabiliza una sub base granular o base granular, para obtener un material de mejor calidad se denomina como sub base o base granular tratada (con cemento o con cal o con asfalto, etc.).

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

El manual ilustra diferentes metodologías de estabilización como: mejoramiento por sustitución de suelos de la sub rasante, estabilización mecánica de suelos, mejoramiento por combinación de suelos, suelos estabilizados con cal, cemento, escorias, emulsión asfáltica, estabilización química del suelo, estabilización con geo

sintéticos (geotextiles, geo mallas u otros). Sin embargo, debe destacarse la significación que adquiere contar con ensayos de laboratorio, que demuestren la aptitud y tramos construidos que ratifiquen el buen resultado. Además, se debe garantizar que tanto la construcción como la conservación vial, puedan realizarse en forma simple, económica y con el equipamiento disponible. **MTC (2014).**

### **CAPACIDAD DE SOPORTE:**

Es la capacidad de un determinado tipo de suelo para sostener una carga determinada.

La capacidad de soporte se determina a partir del ensayo de CBR, el cual mide la resistencia al corte de un suelo bajo condiciones de humedad y densidad controladas, con niveles de compactación variables, permitiendo obtener un porcentaje (%) de la relación de soporte. **MTC (2014).**

### **CARACTERIZACIÓN DE LA SUBRASANTE**

Con el objeto de determinar las características físico-mecánicas de los materiales de la sub rasante se llevarán a cabo investigaciones mediante la ejecución de pozos exploratorios o calicatas de 1.5 m de profundidad mínima; el número mínimo de calicatas por kilómetro, estará de acuerdo a la tabla N°02. Las calicatas se ubicarán longitudinalmente y en forma alternada, dentro de la faja que cubre el ancho de la calzada, a distancias aproximadamente iguales; para luego, sí se considera necesario, densificar la exploración en puntos singulares del trazo de la vía, tal como se mencionan en la tabla N°02.

**Tabla N°02** Número de calicatas para exploración de suelos.

Tipo de Carretera	Profundidad (m)	Numero mínimo de Calicatas	Observación
Autopista: carreteras de IMDA mayor de 6000 veh/día, de calzadas separadas, cada una con dos o más carriles.	1.50m respecto al nivel de sub rasante del proyecto	*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 alterna.
Carreteras Duales o Multicarril: carreteras de IMDA entre 6000 y 4001 veh/día, de calzadas separadas, cada una con dos o más carriles.	1.50m respecto al nivel de sub rasante del proyecto	*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 de IMDA entre 4000-2001 veh/día, de una calzada de dos carriles.	1.50m respecto al nivel de sub rasante del proyecto	*4 calicatas x km.	Las calicatas se ubicaran longitudinalmente y en forma alterna.
Carreteras de Segunda Clase: carreteras de IMDA entre 2000-401 veh/día, de una calzada de dos carriles.	1.50m respecto al nivel de sub rasante del proyecto	*3 calicatas x km.	
Carreteras de Tercera Clase: carreteras de IMDA entre 400-201 veh/día, de una calzada de dos carriles.	1.50m respecto al nivel de sub rasante del proyecto	*2 calicatas x km.	
Carreteras de Bajo Volumen de Transito: carreteras de IMDA ≤ 201 veh/día, de una calzada de dos carriles.	1.50m respecto al nivel de sub rasante del proyecto	*1 calicatas x km.	

Fuente: MTC (2014)

## **CARBON MINERAL**

El carbón es conocido prácticamente desde la aparición del hombre, en las formas de carbón vegetal y negro de humo. Los egipcios preparaban carbón de leña con un método similar al de hoy. El carbón en estado natural se presenta en dos formas de acuerdo a su grado de pureza: El carbón puro se cristaliza en diamante o grafito, mientras que el resto se presenta amorfo como carbón de hulla (carbón de piedra). El diamante, es el carbón puro por excelencia, y es el material más duro y precioso conocido en el universo. El grafito, es una modificación cristalina, que se presenta en escamas y láminas levemente adheridas entre sí, que resbalan de una capa sobre otra con facilidad. **Giraldo y Blas (2008).**

## **ESTABILIZACIÓN DE SUELOS CON CENIZAS DE CARBÓN**

Existen tres mecanismos principales contribuyendo a la estabilización. El primero es que la resistencia del suelo aumenta como resultado de la cementación producida a partir de la hidratación de aluminato tricálcico presentes en las cenizas volantes. Otro mecanismo es que la cal libre (CaO) en las cenizas volantes reacciona con los minerales de arcilla, causando compresión de la capa de absorción y la reducción en la plasticidad.

Finalmente, la cal libre que no hace reaccionar con los minerales de arcilla se encuentra disponible para el proceso de cementación adicional a través de la reacción puzolánica con los compuestos de sílice y alúmina. **MTC (2014).**

## **PROPIEDADES QUIMICAS DE LA CENIZA DE CARBON**

El carbón se clasifica según su valor calorífico y según el porcentaje de carbono que contiene. Por ejemplo, la antracita contiene la mayor proporción de carbono puro (aproximadamente 86 a 98 por ciento) y tiene el mayor valor térmico (13.500 a 15.600 Btu / libra) de todas las formas de carbón. El carbón bituminoso generalmente tiene concentraciones más bajas de carbono puro (de 46 a 86 por ciento) y valores de calor más bajos (8,300 a 15,600 Btu / lb). Los carbones bituminosos a menudo se subdividen en función de su valor calorífico, clasificándose como bituminosos bajos y medios y volátiles voluminosos y sub-bituminosos. El lignito, el más pobre de los carbones

verdaderos en términos de valor calorífico (5.500 a 8.300 Btu / lb), contiene generalmente cerca de 46 a 60 por ciento de carbono puro. Todas las formas de carbón contienen también otros elementos presentes en los organismos vivos, como el azufre y el nitrógeno, que son muy bajos en números absolutos pero que tienen consecuencias ambientales importantes cuando se utilizan carbones como combustibles.

**Tabla N°03** Composición química de cenizas de carbón expresada como óxidos.

Composición química	Resultado (%)	Método utilizado
Trióxido de Aluminio( $Al_2O_3$ )	51.49	Espectrometría de Fluorescencia de Rayos X
Dióxido de Silicio( $SiO_2$ )	29.604	
Oxido de Potasio( $K_2O$ )	9.608	
Trióxido de Hierro( $Fe_2O_3$ )	3.908	
Dióxido de Titanio( $TiO_2$ )	1.496	
Oxido de Calcio( $CaO$ )	1.339	
Pentóxido de Fosforo( $P_2O_5$ )	1.294	
Trióxido de Azufre( $SO_3$ )	1.129	
Pentóxido de Vanadio( $V_2O_5$ )	0.095	
Oxido de Cobre( $CuO$ )	0.037	

Fuente: Morales (2016).

**Tabla N°04** Composición química de cenizas de carbón expresada como elementos.

Composición química	Resultado (%)	Método utilizado
Silicio, Si	37.71	Espectrometría de Fluorescencia de Rayos X
Aluminio, Al	31.448	
Azufre, S	12.846	
Potasio, K	5.285	
Hierro, Fe	5.196	
Calcio, Ca	3.297	
Titanio, Ti	2.796	
Fosforo, P	1.138	
Cobre, Cu	0.147	
Vanadio, V	0.138	

Fuente: Morales (2016).

De acuerdo con **Alonso y Luxan (1995)** las cenizas volantes de carbón presentan las siguientes propiedades:

1. Capacidad reactiva, lo que las hace aptas para múltiples aplicaciones. Otra de sus propiedades es la puzolánica e hidráulica, aunque se necesita de un período más o menos largo de tiempo para que se manifieste su reactividad puzolánica.

2. Las cenizas volantes aumentan la trabajabilidad del material en estado plástico, debido a un aumento en la dispersión de las partículas del sistema.

3. Las cenizas volantes en los morteros disminuyen las expansiones asociadas a la reacción árido-álcalis, disminuyendo la pérdida por durabilidad.

4. El contenido de agua libre (que no reacciona con el cemento) es mayor en presencia de cenizas volantes a primeras edades, y por lo tanto la porosidad del sistema también será mayor.

Sin embargo, dado que las cenizas volantes aumentan la trabajabilidad, es posible reducir la relación agua / cemento, contrarrestando la mayor porosidad.

5. Las resistencias mecánicas al utilizar cenizas volantes serán menores en las primeras edades, comparadas con las alcanzadas en cementos Portland. Las cenizas actúan como un diluyente inerte, durante el tiempo de incubación de la reacción puzolánica. A edades largas se produce un refinamiento de la estructura porosa debido a la evolución de la actividad puzolánica.

6. Las cenizas volantes reducen el calor de hidratación en el cemento debido al menor contenido de alita(3CS) procedente del clínker Portland. Este compuesto es el responsable en su mayor parte del calor desprendido durante la hidratación del cemento Portland. La reacción puzolánica también es exotérmica, pero su desprendimiento es progresivo en el tiempo.

7. Las cenizas volantes incorporadas al cemento mejoran su durabilidad en determinados ambientes sulfatados y de agua de mar. Esto se debe a una mayor impermeabilidad y a la reducción en el contenido de portlandita (3SC). Esto último, inhibe la formación de estingita expansiva.

## PRODUCTIVILIDAD DE CARBON MINERAL

La fuente de energía proveniente del carbón producido en el norte de nuestro país está siendo aprovechada por las siguientes industrias: fábricas de cemento, siderúrgicas, ladrilleras, briquetas para calefacción y uso doméstico.

**Tabla N°05** Características generales de los carbones en el Perú.

Características del carbón y reservas	Cuenca del Santa	Cuenca de Oyón-Gazuna		Cuencas de Goyllarisquisga y Jatunhuasi	
		Oyón	Gazuna	Goylla.	Jatun.
Tipo de carbón (ASTM)	Antracita-Metantracita	Semi Bituminoso	Antracita-semiantracita	Bituminoso y sub bituminoso	
Humedad (%)	4,0-6,0	6	6	6-10	
Materia volátil (%)	3,0-6,0	16-22	6,0-14,0	23,4	32-38
Cenizas (%)	7,0-12,0	6,0-12,0	5,0-10,0	54	6-20
Azufre (%)	0,5-1,0			12,1	0,6-2
Carbón Fijo (%)	80-85	65-75	70-80	22,6	40-60
Poder cal.(kcal/kg)	6000-7500	7000-7600	6500-7500		5000-7000
Densidad(Tm/m3)					
Reservas + Probadas Tm probables	4.9E+07		26000000	1251000	813000
Posibles	2.5E+08		42000000	5000000	6E+07

Fuente: Giraldo y Blas (2008).

De acuerdo a este cuadro observamos que la cuenca del santa cuenta con 49000000 Tm de carbón mineral probadas más probables y a su vez con 1060000000 posibles reservas de carbón mineral por eso llegamos a la conclusión de que el carbón mineral en la provincia del Santa es un material con el que podamos contar para fines de estabilización de suelos.

**Tabla N°06** Ubicación de las minas de carbón mineral, distancias y tiempos de viaje.

Empresa Minera	Minas Visitadas		Ubicación	Distancia de Trujillo(km)	Tipo de carbón
	Propias	De terceros			
Minera AltoChicama EIRL	Mina Tres Ases	Ninguna	Huaranchal-Otuzco-La Libertad	127	Antracita masiva y granular
Silvia Burga Rivasplata	Mina Sonchino	Ninguna	Sonche-Chachapoyas-Amazonas	634	Semi Bituminoso
Otras Minas visitadas	Consorcio Minero Israel		Gran Chimú-La Libertad	124	Antracita masiva y granular
	Mina Aguas Limpias		Gran Chimú-La Libertad	163	Antracita masiva y granular
Jesús de Nazareth S.A.	Jesús de Nazareth 1, 3 y 4		Coina-Usquil-Otuzco-La Libertad	145	Antracita masiva y granular
Mina el Chorreo-Huarochirí	Petitorio Minero		Huarochirí-Santa-Ancash	230	Grafito

Fuente: Giraldo y Blas (2008).

La empresa minera el chorreo ubicado en la provincia del Santa-Ancash está a tres horas y veinte minutos de Trujillo con un estado de las carreteras regulares, donde el carbón mineral se obtiene de la compra por kilo.

### **ESTABILIZACION DE SUELOS CON CAL**

Según **MTC (2014)**. El suelo cal se obtiene por la mezcla íntima de suelo, cal y agua. La cal que se utiliza es óxido cálcico (cal anhidra o cal viva), obtenido por calcinación de materiales calizos, o hidróxido cálcico (cal hidratada o cal apagada). Estas cales se llaman también áreas por la propiedad que tienen de endurecerse en el aire, una vez mezcladas con agua, por acción del anhídrido carbónico.

La experiencia que los productos de hidratación del cemento pueden ser reproducidos combinando dos o más componentes primarios de este producto como: Ca O, SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> y FC<sub>2</sub>O<sub>3</sub> en las proporciones adecuadas y en presencia de agua.

Como la mayoría de los suelos contienen sílice y aluminio silicatos, la incorporación de cal anhidra (Ca O) o de cal hidratada (Ca (OH)<sub>2</sub>) y agua en la cantidad apropiada se puede obtener la composición deseada.

Al mezclar el suelo con la cal, se produce una reacción de floculación e intercambio iónico, seguida de otra muy lenta de tipo puzolanico, con formación de nuevos productos químicos. La sílice y alúmina de las partículas del suelo se combinan con la cal en presencia de agua para formar silicatos y aluminatos cálcicos insolubles.

También aumenta la humedad óptima de compactación, lo que permite la densificación de suelos de elevada humedad natural, que de otro modo no permitirían la construcción de la capa de rodadura sobre ellos.

Los suelos más apropiados para estabilizar con cal son los de granulometría fina de cierta plasticidad.

## **TIPOS DE CAL**

**Bauzá (2003)** menciona las siguientes Clasificaciones:

- Cales de alto contenido en calcio: Procedentes de material base de CaCO<sub>3</sub>, con no más del 5% de MgCO<sub>3</sub>. Se componen pues, fundamentalmente de óxidos de calcio
- Cales dolomíticas: Procedentes de material base con contenidos de más del 5 % de MgCO<sub>3</sub>. Se componen de óxidos de calcio y magnesio.

Otra posible clasificación es la que se deduce de los procesos de obtención y materiales de origen. En este sentido se pueden dividir en:

- Cales hidráulicas: Obtenidas a partir de calizas que contienen arcillas (sílice y alúmina) por su calcinación y posterior hidratación. Además de hidróxido cálcico incorporan silicatos y aluminatos cálcicos. Tienen propiedades hidráulicas, es decir,

endurecen con el agua. El dióxido de carbono atmosférico contribuye a este proceso de endurecimiento adicionalmente.

- Cales aéreas: Compuestas de óxido e hidróxido de calcio y magnesio, que endurecen en contacto con el CO<sub>2</sub> del aire. No tienen propiedades hidráulicas, es decir, no endurecen con ella. Se obtienen de rocas calizas con más del 95% de carbonatos.

### **PRESENTACIÓN DE LA CAL:**

**Bauzá (2003)** menciona las siguientes presentaciones:

- Cal apagada, procedente de la hidratación de la cal viva, compuesta por hidróxidos de calcio/magnesio. Como tal es posible presentarla en forma de pasta, lechada o suspensión de cal en agua, o incluso en forma de polvo seco.

- Cal viva, u óxido de calcio/magnesio procedente directamente del proceso de calcinación. Se presenta en forma de grano o molidas en polvo, incluso micronizadas, ya que esta forma supone que no se ha hidratado el producto de la calcinación.

### **PROPIEDADES DE CAL EN ESTABILIZACION DE SUELOS**

La National Lime Association resume las propiedades que se obtienen después de una estabilización o mejoramiento con cal, en lo siguiente:

- Reducción del índice de plasticidad, debido a una reducción del límite líquido y a un incremento del límite plástico.
- Reducción considerable del ligante natural del suelo por aglomeración de partículas
- Obtención de un material más trabajable y fiable como producto de la reducción del contenido de agua en los suelos (rotura fácil de grumos).
- La cal ayuda a secar los suelos húmedos lo que acelera su compactación.
- Reducción importante del potencial de contracción y del potencial de hinchamiento.
- Incremento de la capacidad de soporte del suelo(CBR)
- Incremento de la resistencia a la tracción del suelo.

- Formación de barreras impermeables que impiden la penetración de aguas de lluvia o el ascenso capilar de aguas subterráneas.

## ENSAYOS DE LABORATORIO

**-ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO (ASTM D 422):** Con el cual se evalúa la distribución de las partículas del suelo según su diámetro.

**Tabla N°07** Clasificación de suelos según tamaño de partículas

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

Fuente: MTC (2014).

**-PROCTOR MODIFICADO (ASTM D 1557):** Permite determinar el óptimo contenido de humedad y la máxima densidad del suelo.

**- CBR (ASTM D 4429):** evalúa la resistencia o capacidad de carga del suelo.

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

1. En los sectores con 6 o más valores de CBR realizados por tipo de suelo representativo o por sección de características homogéneas de suelos, se determinará el valor de CBR de diseño de la sub rasante considerando el promedio del total de los valores analizados por sector de características homogéneas.
2. 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 determinará el valor de CBR de diseño de la sub rasante 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 100 m. Son valores de CBR parecidos o similares los que se encuentran dentro de un determinado rango de categoría de sub rasante.

3. Una vez definido el valor del CBR de diseño, para cada sector de características homogéneas, se clasificará a que categoría de sub rasante pertenece el sector o sub tramo, según lo siguiente:

**Tabla N°08** Categoría de Sub rasante según CBR

Categorías de Sub rasante	CBR
So: Sub rasante Inadecuada	CBR<3%
S1: Sub rasante Pobre	De CBR $\geq$ 3% A CBR<6%
S2: Sub rasante Regular	De CBR $\geq$ 6% A CBR<10%
S3: Sub rasante Buena	De CBR $\geq$ 10% A CBR<20%
S4: Sub rasante Muy Buena	De CBR $\geq$ 20% A CBR<30%
S5: Sub rasante Excelente	CBR $\geq$ 30%

Fuente: MTC (2014)

## JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO

La carretera cascajal Km15 a Km16 ubicado en la provincia del Santa -Ancash se caracteriza por ser de un suelo agrícola, el cual demanda de un mejoramiento en sus carreteras para poder ejecutarse una pavimentación de sus calles, por ello centramos nuestro objetivo en evaluar el efecto del carbón mineral y la cal como estabilizante de una sub rasante de suelo limoso para el mejoramiento de sus propiedades físicas y mecánicas mediante procedimientos normados.

Esta investigación es viable ya que la cuenca del santa cuenta con 48800000 Tn de carbón mineral probadas más probables y a su vez con 1058000000 Tn de posibles reservas de carbón mineral por eso llegamos a la conclusión de que el carbón mineral en la provincia del Santa es un material con el que podamos contar para fines de estabilización de suelos.

La cal es económica y viable a la vez ya que tiene un precio accesible y se puede encontrar en todos los súper mercados y ferreterías que se encuentran en nuestra provincia del Santa.

El uso de carbón del carbón mineral en nuestra provincia del Santa será muy beneficioso ya que mejorará a un precio accesible los suelos, reactivara la producción masiva de las minas de carbón mineral y generará puestos de trabajo en nuestra localidad.

Con la adición de carbón mineral y cal con el debido curado aumentan considerablemente el valor del módulo de resiliencia con la correspondiente disminución de los espesores de capas de base del pavimento en el diseño, en comparación a un suelo puro para un mismo nivel de carga y mismos criterios de diseño.

La cal transforma un suelo plástico y de poca capacidad de soporte en un suelo rígido, fácil de compactar y con una excelente capacidad de soporte donde pueden circular las máquinas sin dificultad.

## **PROBLEMA**

### **REALIDAD PROBLEMATICA**

En la provincia del santa hay muchas vías que tienen una mala calidad de suelo, la carretera cascajal km15 a km 16 es una de ellas por tal motivo requiere un mejoramiento previo antes de ejecutarse una carretera lo que muchas veces resulta antieconómico y sin buenos resultados.

En la actualidad se le hace un mejoramiento del suelo agregándole material de préstamo (afirmado base o sub base) para luego colocar una carpeta asfáltica, pero debido a que la calidad del suelo es mala los espesores de la capa de afirmado base o sub base son grandes generando un aumento excesivo en el presupuesto.

El uso de carbón y cal es una solución tanto económica como efectiva para la precaria calidad del suelo de nuestra provincia, nuestra provincia cuenta con muchas minas de carbón aledañas a ella lo cual da facilidad de obtener este material y la cal se puede

encontrar en cualquier supermercado o ferretería dentro de nuestra provincia a un precio accesible.

### **ANALISIS DE LA SITUACION PROBLEMÁTICA**

A nivel internacional en muchos países europeos la contaminación ambiental es un tema de cada día, por lo que siempre se plantea el reutilizar las materias primas, la ceniza de carbón es un mineral con gran concentración de energía el cual es muy empleado en plantas termoeléctricas; la cual también es una gran fuente de contaminación, el desecho de la combustión del carbón de piedra es denominado cenizas de carbón. El carbón mineral se emplea mayormente en la elaboración de cementos, investigaciones años atrás dieron como resultado que las cenizas carbón mejorarían la capacidad de soporte de un suelo; de tal manera aumentaría su durabilidad y disminuiría los costos de mantenimientos de una carretera.

A nivel nacional en el Perú el costo de ejecución de una carretera es muy elevado debido a la mala calidad de los suelos, para proyectar una futura vía se necesita mejorar el suelo aplicando un proceso de estabilización, por lo que se plantea nuevas soluciones de estabilización que resulten económicas. El Perú cuenta con muchas minas de Carbón de piedra las cuales son explotadas por Empresas Siderúrgicas o Cementeras, estas usan el carbón de piedra como una fuente de energía calorífica para sus calderas, al incinerar el carbón de piedra un porcentaje de este queda atrapado en filtros los cuales tienen la denominación de Cenizas Volantes de Carbón o Cenizas de Fondo de Carbón.

A nivel local no se tiene referencias de haber utilizado cenizas de carbón en estabilización de suelos, la provincia del Santa presenta problemas en sus carreteras ya que se caracteriza por ser de un suelo agrícola y con alto nivel freático, por lo que se necesita mejorar la capacidad de soporte de sus suelos para plantear o ejecutar una carretera.

## **FORMULACION DEL PROBLEMA**

En función a todo lo mencionado se plantea el siguiente problema de investigación:

**¿En qué medida mejorara la capacidad de soporte al estabilizar el suelo de la vía Cascajal km15 a km16 con la adición parcial del 7% de carbón mineral y 4% de cal a nivel de sub rasante?**

## **CONCEPCION Y OPERACIONALIZACION DE LAS VARIABLES:**

### **➤ VARIABLE INDEPENDIENTE:**

#### **DISEÑO DE MEZCLA DE SUELO:**

Es una muestra representativa del suelo donde elaboramos nuestro proyecto el cual está conformado por diferentes estratos. De acuerdo al manual de carreteras **MTC (2014)** debemos hacer dos calicatas por kilómetro para carreteras de Tercera Clase, de los cuales obtendrán 3 muestras de mezcla de suelo arcilloso por calicata, los cuales fueron analizados en el laboratorio de Mecánica de Suelos de la Universidad San Pedro.

#### **DEFINICIÓN OPERACIONAL:**

De la carretera Cascajal Km15 a Km16 se realizó una calicata por kilómetro debido a que es una carretera de bajo volumen de tránsito **MTC (2014)**, de dicha calicata obtendremos tres muestras de mezcla de suelo, una para la muestra patrón y dos para los experimentales. Posteriormente se llevó al laboratorio de la USP para su estudio y análisis.

#### **DIMENSIONES:**

- ✓ Diseño de mezcla de suelo (patrón): Es una muestra representativa del suelo de la carretera Cascajal km15 a km16.
- ✓ Dosificación con adición de 7% de carbón mineral y 4% de cal: Es una muestra representativa del suelo de la carretera Cascajal km15 a km16 con la adición del 7% de carbón mineral y 4% de cal.
- ✓ Dosificación con adición de 7% de carbón mineral y 4% de cal: Es una muestra

representativa del suelo de la carretera Cascajal km15 a km16 con la adición del 7% de carbón mineral y 4% de cal.

**INDICADORES:**

- Proporción del 7% de carbón mineral respecto al peso del suelo.
- Proporción del 4% de cal respecto al peso del suelo.

➤ **VARIABLE DEPENDIENTE:**

**CAPACIDAD DE SOPORTE:**

El (%) CBR O CAPACIDAD DE SOPORTE, está definido como la fuerza requerida para que un pistón normalizado penetre a una profundidad determinada, expresada en porcentaje de fuerza necesaria para que el pistón penetre a esa misma profundidad y con igual velocidad, en una probeta normalizada constituida por una muestra patrón de material chancado. El CBR que es el valor soporte o capacidad de soporte del suelo, que estará referido al 95% de la MDS (Máxima Densidad Seca) y a una penetración de carga de 2.54 mm. **MTC (2014).**

**DEFINICIÓN OPERACIONAL:**

Esta variable fue medida con un molde dentro de un recipiente con agua suficiente para que cubrir por completo el molde después se monta un trípode con un extensómetro y se toma una lectura inicial cada 24 horas hasta las 96 horas hasta la última lectura para calcular el hinchamiento.

Posteriormente se procede a realizar el ensayo de CBR el cual mide la resistencia al corte de un suelo bajo condiciones de humedad y densidad controladas, permitiendo obtener un (%) de la relación de soporte.

**DIMENSIONES:**

-Esfuerzo: Se obtiene de la relación de la carga unitaria (lbs/pulg<sup>2</sup>.) necesaria para lograr una cierta profundidad de penetración del pistón de penetración (19.4 cm<sup>2</sup>) dentro de la muestra compactada de suelo a un contenido de humedad y densidad dadas con respecto a la carga unitaria patrón (lbs/pulg<sup>2</sup>.) requerida para obtener la misma profundidad de penetración en una muestra estándar de material triturado.

**Braja (2001).**

## **INDICADORES:**

- CBR<3% =SUB RASANTE INADECUADA
- CBR≥3% A CBR <6% =SUB RASANTE POBRE
- CBR≥6% A CBR <10% =SUB RASANTE REGULAR
- CBR≥10% A CBR <20% =SUB RASANTE BUENA
- CBR≥20% A CBR <30% =SUB RASANTE MUY BUENA
- CBR≥30% =SUB RASANTE EXCELENTE

## **HIPOTESIS**

Al estabilizar el suelo de la vía Cascajal Km15 a Km16 adicionando el 7% de carbón mineral y 4% de cal mejoraría su capacidad de soporte.

## **OBJETIVOS**

### **OBJETIVO GENERAL**

Determinar la capacidad de soporte al estabilizar el suelo de la vía Cascajal con la adición del 7% de carbón mineral y 4% de cal a nivel de sub rasante.

### **OBJETIVOS ESPECIFICOS**

- Determinar la composición química del carbón mineral mediante la espectrometría de fluorescencia de rayos x.
- Determinar la composición química de la cal mediante la espectrometría de fluorescencia de rayos x.
- Determinar y comparar la capacidad de soporte al 95% de la MDS mediante la aplicación de los ensayos de CBR del patrón y del suelo con adición del 7% de carbón mineral y 4% de cal.
- Determinar y comparar la capacidad de soporte al 100% de la MDS mediante la aplicación de los ensayos de CBR del patrón y del suelo con adición del 7% de carbón mineral y 4% de cal.

## II. METODOLOGIA

El método de Investigación que se aplica es la Experimentación, ya que se utiliza un nuevo tipo de material para la estabilización de suelos, adicionando de carbón mineral en 7% y adición de cal en 4% en un suelo que no cumple los requisitos mínimos de acuerdo a norma, se comparó los resultados por cada porcentaje en cuanto mejoró la capacidad de soporte de un suelo.

La investigación es de tipo aplicada, ya que se planteó dar solución a la deficiencia que tiene el suelo de la carretera Cascajal km15 a km16 y a la vez se comprobó de manera experimental la capacidad de soporte que adquiere el suelo de la carretera Cascajal km15 a km16 al adicionarse un 7% de carbón mineral y 4% de cal.

La metodología que le corresponde a esta investigación es experimental de nivel cuasi experimental, porque casi alcanza el nivel experimental debido a que no existe ningún tipo de aleatorización, es decir, no hay manera de asegurar la equivalencia inicial de los grupos experimental y control (patrón).

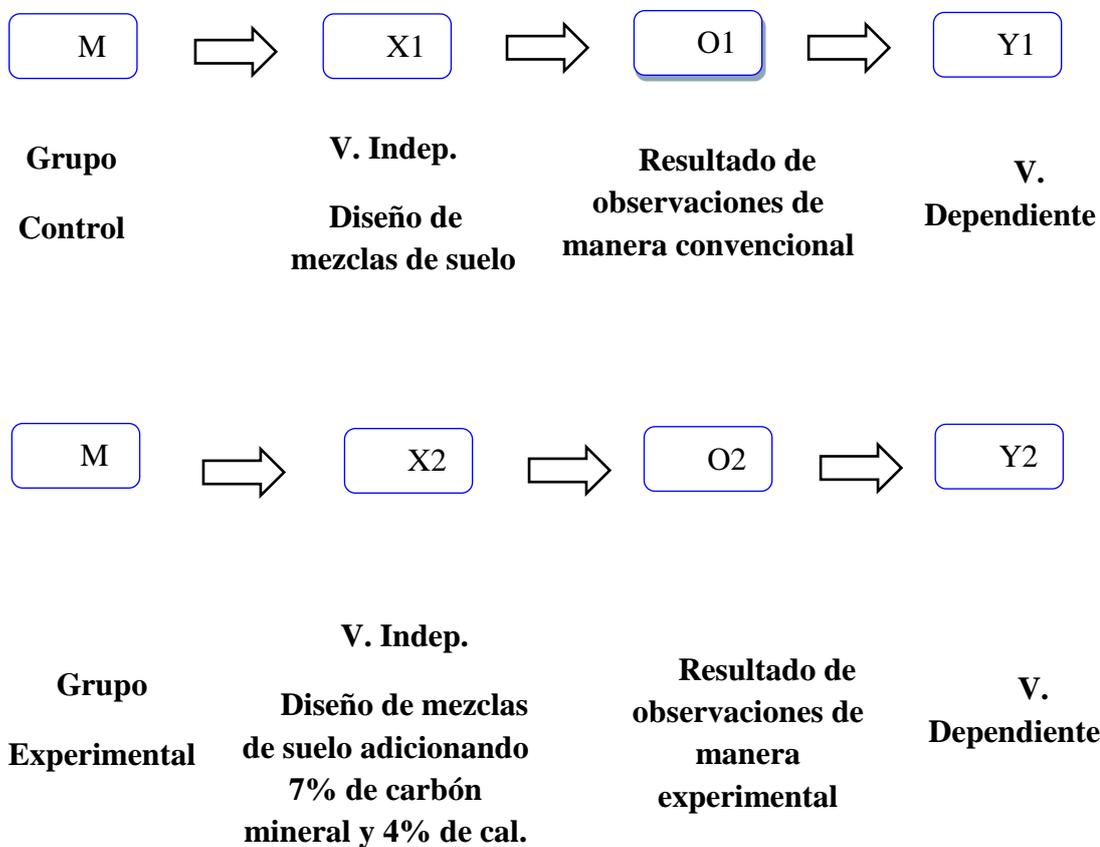
Se evaluó mediante ensayos los resultados, teniendo varias horas semanales dedicadas a la elaboración de las mismas.

La mayor parte del estudio, se realizó en el Laboratorio, observando y debatiendo los resultados obtenidos.

Se comparó 2 grupos de estudio; realizando el control y manipulación de la adición a la mezcla de suelo, para la cual se estudió un nuevo diseño de mezcla de estabilización del suelo con la adición de carbón mineral y la adición de cal, buscando mejorar su capacidad de soporte.

El estudio en su mayor parte se concentró en el Laboratorio de Suelos de nuestra Universidad San Pedro, donde como investigador estuve en contacto con los ensayos a realizar obteniendo resultados de acuerdo a lo planeado en los objetivos formulados.

Siendo el esquema del diseño de investigación el siguiente:



**Donde:**

- $M_1$ : Grupo control, Muestras de mezcla de suelo en estado natural
- $X_1$ : Mezcla de suelo natural, sin adición.
- $O_1$ : Observaciones Obtenidas por dicha muestra, son los resultados anotados en la guía de observación de la mezcla de suelo en estado natural.
- $Y_1$ : Capacidad de soporte de las muestras de mezcla de suelo en estado natural (variable dependiente).
- $M_2$ : Grupo Experimental, Muestras de mezcla de suelo con la adición de 7% de carbón mineral y 4% de cal.
- $X_2$  Mezcla de suelo con adición de 7% de carbón mineral y 4% de cal.

- $O_2$ : Observaciones Obtenidas por dicha muestra, son los resultados anotados en la guía de observación de la mezcla de suelo con adición de 7% de carbón mineral y 4% de cal.
- $Y_2$ : Capacidad de soporte de las muestras de mezclas de suelo con adición de 7% de carbón mineral y 4% de cal. (variable dependiente).

## **POBLACIÓN Y MUESTRA**

### **•POBLACIÓN**

Comprende la Via cascajal km15 a km16 de la cual seleccionamos un área donde obtuvimos muestras de mezcla de suelo según lo indicado en la **MTC (2014)** nos dice que mediante la ejecución de pozos exploratorios ó calicatas de 1.5 m de profundidad mínima; el número mínimo de calicatas por kilómetro, estará de acuerdo a la tabla N°02.

### **•MUESTRA:**

Debido a que nuestra vía es de tercera clase tomamos 2 calicatas por kilómetro pero por temas de investigación aumentamos una calicata más, todas las calicatas se evaluaron a 1.50m al nivel de la sub rasante y fueron usadas de la siguiente manera:

- 1 mezcla de suelo para el ensayo de granulometría del suelo patrón de la Calicata N°01.
- 1 mezcla de suelo para el ensayo de granulometría del suelo patrón de la Calicata N°02.
- 1 mezcla de suelo para el ensayo de granulometría del suelo patrón de la Calicata N°03.
- 1 mezcla de suelo de la calicata N°01 para el ensayo de Proctor Modificado del suelo Patrón.
- 1 mezcla de suelo de la calicata N°02 para el ensayo de Proctor Modificado del suelo Patrón.

- 1 mezcla de suelo de la calicata N°03 para el ensayo de Proctor Modificado del suelo Patrón.
- 1 mezcla de suelo de la calicata N°01 para el ensayo de Proctor Modificado con adición del 7% de carbón mineral y 4% de cal.
- 1 mezcla de suelo de la calicata N°02 para el ensayo de Proctor Modificado con adición del 7% de carbón mineral y 4% de cal.
- 1 mezcla de suelo de la calicata N°02 para el ensayo de Proctor Modificado con adición del 7% de carbón mineral y 4% de cal.
- 1 mezcla de suelo de la calicata N°01 para el ensayo de CBR del suelo Patrón.
- 1 mezcla de suelo de la calicata N°02 para el ensayo de CBR del suelo Patrón.
- 1 mezcla de suelo de la calicata N°03 para el ensayo de CBR del suelo Patrón.
- 1 mezcla de suelo de la calicata N°01 para el ensayo de CBR con adición del 7% de carbón mineral y 4% de cal.
- 1 mezcla de suelo de la calicata N°02 para el ensayo de CBR con adición del 7% de carbón mineral y 4% de cal.
- 1 mezcla de suelo de la calicata N°03 para el ensayo de CBR con adición del 7% de carbón mineral y 4% de cal.

Cuyos testigos fueron llevados al laboratorio de la Universidad San Pedro para luego ser ensayados.

## TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE INVESTIGACIÓN

**Tabla N° 09** – Técnicas de recolección de la información

<b>METODO O TECNICA</b>	<b>INSTRUMENTO</b>	<b>AMBITO</b>
Observación Científica	Guía de observación resumen: Fichas técnicas de los ensayos a realizar.	Grupo Control: Mezcla de suelo natural y Mezcla de suelo con adición de 7% carbón mineral y 4% de cal.

Fuente: Elaboración propia.

Se optó por la técnica de investigación de la “Observación Científica”, ya que observamos hechos, casos, objetos, acciones, situaciones dentro del proceso de experimentación.

Nos ayudamos con una guía de observación resumen la cual está conformada por las fichas técnicas de los ensayos a realizar donde tomamos apuntes de los resultados de los ensayos que realizaremos en el laboratorio de suelos de la Universidad San Pedro.

Al diseño de mezcla de suelo convencional lo modificamos o manipulamos agregándole 7% de carbón mineral y 4% de cal para buscar mejorar la capacidad de soporte del suelo de la carretera Cascajal km15 a km16. Esta investigación controla directamente el fenómeno de estudio lo cual se basará en la aplicación de los ensayos de granulometría, Proctor Modificado y el ensayo de CBR descritos en el marco referencial (Pag 13).

Nuestra Guía de Observación comprende aspectos de los siguientes ensayos que se realizaron para la recolección de datos.

**Ensayo 01: Toma de Muestras de Mezclas de suelo a una profundidad de 1.50m para sub rasante (calicatas).**

### **OBJETIVO**

El procedimiento para la toma de muestras de mezcla de suelo es tomar la muestra haciendo una excavación (calicata) de 1.50m de profundidad para obtener una muestra sin contaminantes. Las muestras pueden usarse para los dos propósitos siguientes:

- Como muestra representativa de las características o condiciones promedio de una mezcla de suelo.

- Para controlar su uniformidad o sus variaciones de acuerdo al nivel en el que se encuentre.

**Ensayo 02: Determinación de la densidad seca de la muestra Patrón y las muestras con la adición parcial del 7% de carbón mineral y 4% de Cal.**

### **OBJETIVO**

Estos ensayos tienen por finalidad determinar la relación humedad-densidad de un suelo compactado en un molde normalizado mediante un pisón de masa normalizada, en caída libre y con una energía específica de compactación. La compactación se define como el proceso mecánico mediante el cual se disminuye la cantidad de vacíos en una masa de suelo, obligando a sus partículas a un contacto más íntimo entre sí, es decir, a un aumento de la densidad de un material determinado. Las variables determinantes de la compactación que se pueda lograr en un determinado material, son la humedad que posee el suelo y el nivel de energía en la compactación.

**Ensayo 03: Determinación del Grado de Saturación de la muestra Patrón y la muestra con la adición parcial del 7% de carbón mineral y 4% de cal.**

### **OBJETIVO**

Describe el procedimiento que debe seguirse para la determinación del grado de saturación de un suelo el cual puede ir desde 0 (completamente seca) o hasta los valores de porosidad de los materiales en el punto de saturación.

**Ensayo 04: Aplicación de Cargas de la muestra Patrón y la muestra con la adición parcial del 7% de carbón mineral y 4% de cal.**

## **OBJETIVO**

Procedimiento que debe seguirse para determinar la capacidad de soporte de un suelo. El procedimiento consiste en la fabricación de muestras de CBR, las cuales se ensayan posteriormente según los procedimientos indicados en esta norma.

## **PROCEDIMIENTO Y ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN**

Se aplicaron los métodos estadísticos, tanto descriptivos como inferenciales.

### **Métodos Descriptivos**

Para el presente proyecto de investigación el procesamiento de datos fue posterior a los ensayos respectivos apoyados en una hoja la de cálculo Excel.

En dicho procesamiento se realizó:

- Tabla de distribución de frecuencias.
- Representación con gráficos estadísticos como histograma de frecuencias, polígono de frecuencias y graficas de dispersión y barras para los datos obtenidos en la observación.
- Se calculó medidas estadísticas como promedio, varianza y desviación estándar.
- Para efectos de determinar el grado de relación entre las variables se aplicó el coeficiente de correlación lineal.

### **Métodos Inferenciales**

Comprobación o Verificación de la Hipótesis por Prueba de Hipótesis de Diferencia de Medias poblacionales. Se usó el método mencionado anteriormente ya que las variables de dicho proyecto son cuantitativas.

Se usó la estimación de parámetros ya que nos permite estimar valores poblacionales a partir de muestras de mucho menor tamaño.

### **Análisis de la varianza**

Para el presente proyecto se hizo el análisis de la varianza ya que permitió determinar si diferentes tratamientos muestran diferencias significativas o por el contrario puede suponerse que sus medias poblacionales no difieren.

El análisis de la varianza permitió superar las limitaciones de hacer contrastes bilaterales por parejas que son un mal método para determinar si un conjunto de variables con  $n > 2$  difieren entre sí.

### III. RESULTADOS

**Tabla N°10** Composición química de Carbón Mineral expresada como óxidos.

Composición química	Concentración % masa	Normalizado al 100%
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	14.555	33.160
SiO <sub>2</sub>	24.060	54.802
SO <sub>2</sub>	1.137	2.591
K <sub>2</sub> O	0.902	2.054
CaO	0.436	0.994
TiO <sub>2</sub>	0.563	1.283
V <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.024	0.055
MnO	0.019	0.043
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2.084	4.747
Co <sub>3</sub> O <sub>4</sub>	0.006	0.014
Ni <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.014	0.032
CuO	0.013	0.029
ZnO	0.028	0.063
As <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.007	0.015
BrO <sub>2</sub>	0.011	0.025
SrO	0.090	0.019
Y <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.004	0.010
ZrO <sub>2</sub>	0.028	0.063
Total	43.904	100.000

Fuente: Resultados de los ensayos del laboratorio de Arqueometria-UNMSM

**Tabla N°11** Composición química de Cal expresada como óxidos.

Composición química	Concentración % masa	Normalizado al 100%
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	11.663	12.831
SiO <sub>2</sub>	0.775	0.853
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.531	0.584
SO <sub>2</sub>	1.137	0.736
ClO <sub>2</sub>	0.152	0.168
K <sub>2</sub> O	0.016	0.018
CaO	76.780	84.468
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.003	0.003
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.052	0.057
Ni <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.021	0.023
CuO	0.004	0.005
ZnO	0.009	0.010
SrO	0.128	0.141
Y <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.003	0.003
ZrO <sub>2</sub>	0.006	0.007
Ln <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.030	0.033
La <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.055	0.061
Total	90.898	100.000

Fuente: Resultados de los ensayos del laboratorio de Arqueometria-UNMSM

## **RESULTADOS DE ENSAYOS DE LABORATORIO EN LA USP:**

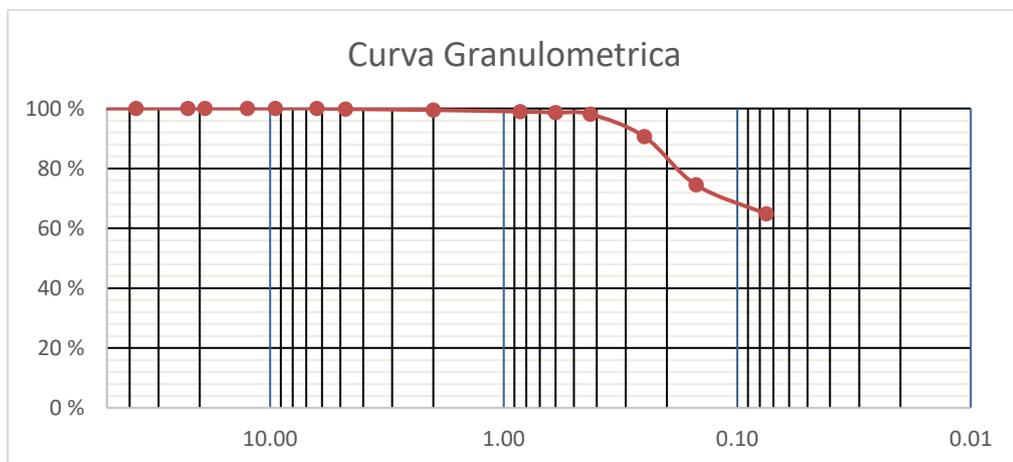
### **a) GRANULOMETRIA**

**Tabla N°12** Cuadro Resumen del Análisis Granulométrico de la calicata N°01

<b>CALICATA N°01</b>					
Peso seco inicial	490.00				
Peso seco lavado	172.70				
Peso perdido por lavado	317.30				
Tamiz(Apertura) N° (mm)	Peso Retenido	Retenido Parcial	Retenido Acumulado	Pasante (%)	
2 1/2"	76.200	0.00	0.0	0.0	100.0
2"	50.800	0.00	0.0	0.0	100.0
1 1/2"	37.500	0.00	0.0	0.0	100.0
1"	22.500	0.00	0.0	0.0	100.0
3/4"	19.000	0.00	0.0	0.0	100.0
1/2"	12.500	0.00	0.0	0.0	100.0
3/8"	9.500	0.00	0.0	0.0	100.0
1/4"	6.300	0.00	0.0	0.0	100.0
4	4.750	0.90	0.2	0.2	99.8
10	2.000	1.60	0.3	0.5	99.5
20	0.850	2.60	0.5	1.0	99.0
30	0.600	1.50	0.3	1.3	98.7
40	0.425	2.80	0.6	1.9	98.1
60	0.250	36.60	7.5	9.4	90.6
100	0.150	79.10	16.1	25.5	74.5
200	0.075	47.60	9.7	35.2	64.8
<200		317.30	64.8	100.0	0.0
<b>TOTAL</b>		<b>490.00</b>			<b>100.0</b>

Fuente: Elaboración propia.

**Gráfico N°01** Curva Granulométrica de la calicata N°01

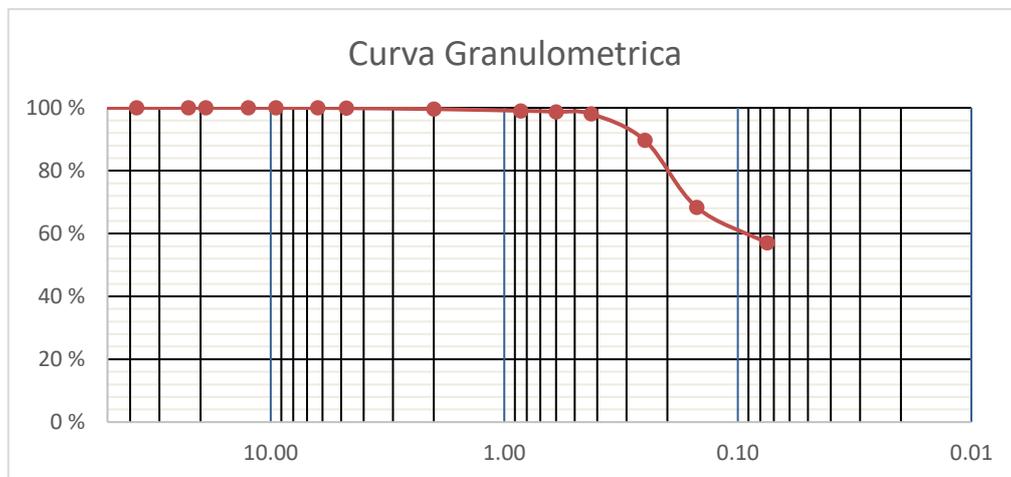


**Tabla N°13** Cuadro Resumen del Análisis Granulométrico de la calicata N°02

<b>CALICATA N°02</b>					
Peso seco inicial	700.00				
Peso seco lavado	300.80				
Peso perdido por lavado	399.20				
Tamiz(Apertura) N°	(mm)	Peso Retenido	Retenido Parcial	Retenido Acumulado	PASANTE (%)
2 1/2"	76.200	0.00	0.0	0.0	100.0
2"	50.800	0.00	0.0	0.0	100.0
1 1/2"	37.500	0.00	0.0	0.0	100.0
1"	22.500	0.00	0.0	0.0	100.0
3/4"	19.000	0.00	0.0	0.0	100.0
1/2"	12.500	0.00	0.0	0.0	100.0
3/8"	9.500	0.00	0.0	0.0	100.0
1/4"	6.300	0.00	0.0	0.0	100.0
4	4.750	0.60	0.1	0.1	99.9
10	2.000	2.10	0.3	0.4	99.6
20	0.850	3.80	0.5	0.9	99.1
30	0.600	2.20	0.3	1.2	98.8
40	0.425	4.80	0.7	1.9	98.1
60	0.250	59.00	8.4	10.4	89.6
100	0.150	149.00	21.3	31.6	68.4
200	0.075	79.30	11.3	43.0	57.0
<200		399.20	57.0	100.0	0.0
<b>TOTAL</b>		<b>700.00</b>			<b>100.0</b>

Fuente: Elaboración propia.

**Gráfico N°02** Curva Granulométrica de la calicata N°02

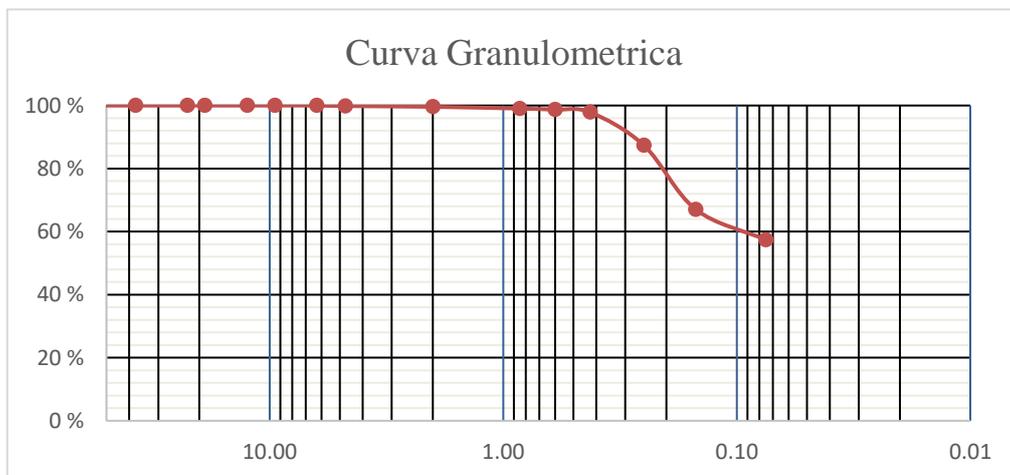


**Tabla N°14** Cuadro Resumen del Análisis Granulométrico de la calicata N°03

<b>CALICATA N°03</b>					
Peso seco inicial	620.00				
Peso seco lavado	264.20				
Peso perdido por lavado	355.80				
Tamiz(Apertura) N° (mm)	Peso Retenido	Retenido Parcial	Retenido Acumulado	PASANTE (%)	
2 1/2"	76.200	0.00	0.0	0.0	100.0
2"	50.800	0.00	0.0	0.0	100.0
1 1/2"	37.500	0.00	0.0	0.0	100.0
1"	22.500	0.00	0.0	0.0	100.0
3/4"	19.000	0.00	0.0	0.0	100.0
1/2"	12.500	0.00	0.0	0.0	100.0
3/8"	9.500	0.00	0.0	0.0	100.0
1/4"	6.300	0.00	0.0	0.0	100.0
4	4.750	1.00	0.2	0.2	99.8
10	2.000	1.50	0.2	0.4	99.6
20	0.850	3.50	0.6	1.0	99.0
30	0.600	2.20	0.4	1.3	98.7
40	0.425	5.00	0.8	2.1	97.9
60	0.250	65.00	10.5	12.6	87.4
100	0.150	126.00	20.3	32.9	67.1
200	0.075	60.00	9.7	42.6	57.4
<200		355.80	57.4	100.0	0.0
<b>TOTAL</b>		<b>620.00</b>			<b>100.0</b>

Fuente: Elaboración propia.

**Grafico N°03** Curva Granulométrica de la calicata N°03



## b) PROCTOR MODIFICADO

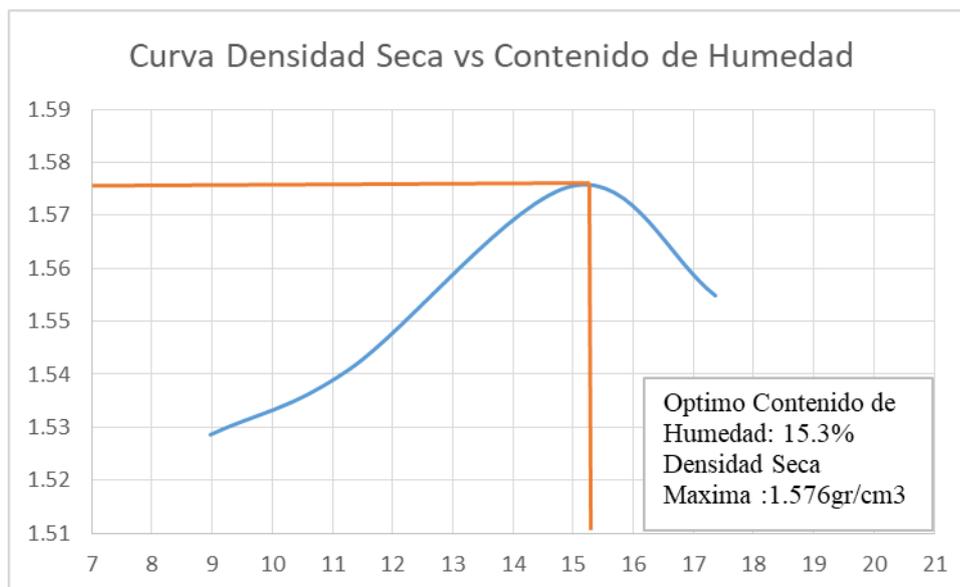
Las siguientes tablas y gráficos recogen los resultados de los ensayos de Proctor Modificado tanto para las muestras patrón y para las muestras experimentales aplicadas a las calicatas N°-01, N°-02 y N°-03.

**Tabla N°15** Proctor Modificado Patrón de la Calicata N°01

<b>PROCTOR-CALICATA N°01-PATRON</b>				
Peso Suelo Húmedo + Molde(gr)	3748	3800	3901	3917
Peso del Molde(gr)	1979	1979	1979	1979
Peso Suelo Húmedo (gr)	1769	1821	1922	1938
Volumen del Molde(cm3)	1062	1062	1062	1062
Densidad de Suelo Seco(gr/cm3)	1.666	1.715	1.810	1.825
Tarro N°	1	2	3	4
Peso del Suelo Húmedo + Tarro(g)	455.80	569.50	349.70	590.80
Peso del Suelo Seco + Tarro(g)	424.00	520.40	312.60	512.90
Peso del Agua(g)	31.80	49.10	37.10	77.90
Peso del Tarro(g)	69.50	85.00	63.00	64.30
Peso del Suelo Seco(g)	354.50	435.40	249.60	448.60
Contenido de Humedad (%)	8.97	11.28	14.86	17.37
Densidad de Suelo Seco(gr/cm3)	1.53	1.54	1.58	1.55

Fuente: Elaboración propia.

**Gráfico N°04** Curva Densidad Seca Vs Contenido de Humedad Patrón de la Calicata N°01



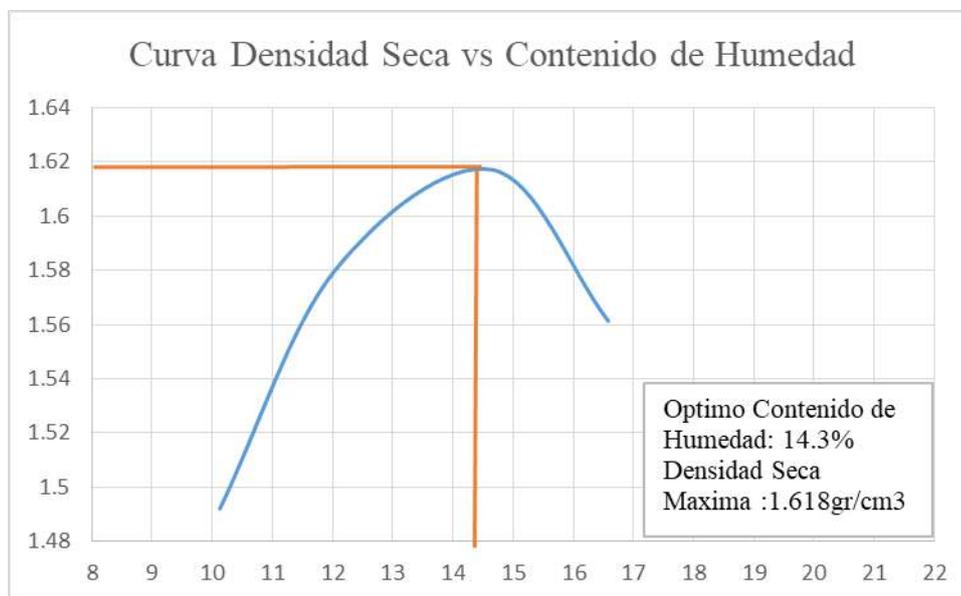
**Tabla N°16** Proctor Modificado Experimental de la Calicata N°01

**PROCTOR-CALICATA N°01-EXPERIMENTAL**

Peso Suelo Húmedo + Molde(gr)	3724	3852	3948	3912
Peso del Molde(gr)	1979	1979	1979	1979
Peso Suelo Húmedo (gr)	1745	1873	1969	1933
Volumen del Molde(cm <sup>3</sup> )	1062	1062	1062	1062
Densidad de Suelo Seco(gr/cm <sup>3</sup> )	1.643	1.764	1.854	1.820
Tarro N°	1	2	3	4
Peso del Suelo Húmedo + Tarro(g)	374.00	420.00	376.00	444.00
Peso del Suelo Seco + Tarro(g)	346.00	384.00	336.00	390.00
Peso del Agua(g)	28.00	36.00	40.00	54.00
Peso del Tarro(g)	69.50	85.00	63.00	64.30
Peso del Suelo Seco(g)	276.50	299.00	273.00	325.70
Contenido de Humedad (%)	10.127	12.040	14.652	16.580
Densidad de Suelo Seco(gr/cm <sup>3</sup> )	1.492	1.574	1.617	1.561

Fuente: Elaboración propia.

**Grafico N°05** Curva Densidad Seca Vs Contenido de Humedad Experimental de la Calicata N°01



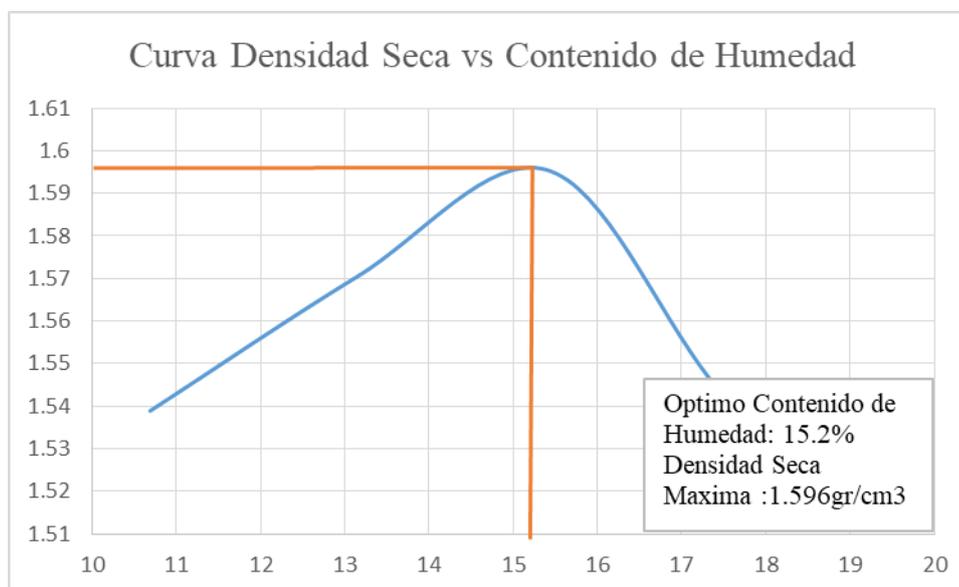
**Tabla N°17** Proctor Modificado Patrón de la Calicata N°02

**PROCTOR-CALICATA N°02-PATRON**

Peso Suelo Húmedo + Molde(gr)	3788	3866	3930	3906
Peso del Molde(gr)	1979	1979	1979	1979
Peso Suelo Húmedo (gr)	1809	1887	1951	1927
Volumen del Molde(cm <sup>3</sup> )	1062	1062	1062	1062
Densidad de Suelo Seco(gr/cm <sup>3</sup> )	1.70	1.78	1.84	1.81
Tarro N°	1	2	3	4
Peso del Suelo Húmedo + Tarro(g)	318.00	326.00	352.00	308.00
Peso del Suelo Seco + Tarro(g)	294.00	298.00	314.00	272.00
Peso del Agua(g)	24.00	28.00	38.00	36.00
Peso del Tarro(g)	69.50	85.00	63.00	64.30
Peso del Suelo Seco(g)	224.50	213.00	251.00	207.70
Contenido de Humedad (%)	10.69	13.15	15.14	17.33
Densidad de Suelo Seco(gr/cm <sup>3</sup> )	1.54	1.57	1.60	1.55

Fuente: Elaboración propia.

**Grafico N°06** Curva Densidad Seca Vs Contenido de Humedad Patrón de la Calicata N°02



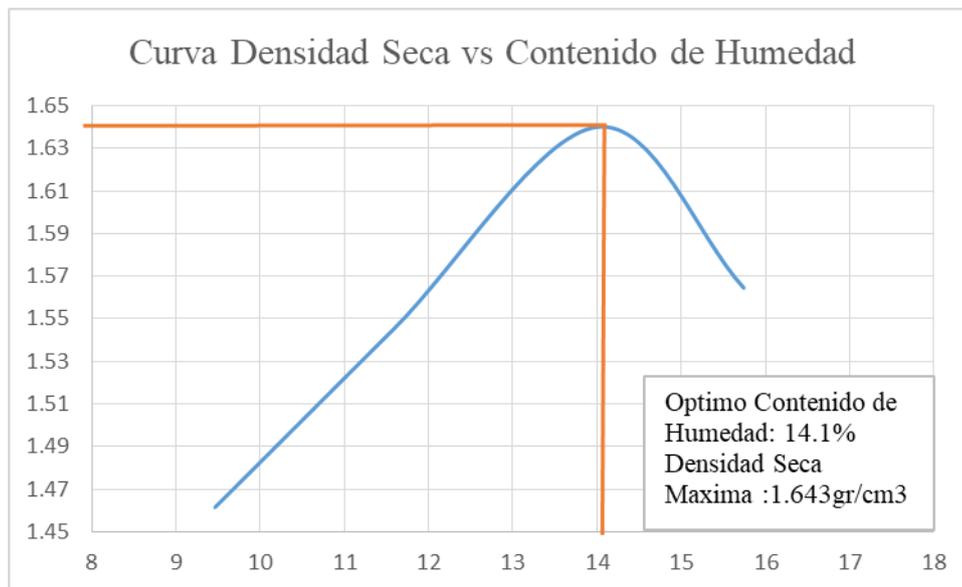
**Tabla N°18** Proctor Modificado Experimental de la Calicata N°02

**PROCTOR-CALICATA N°02-EXPERIMENTAL**

Peso Suelo Húmedo + Molde(gr)	3678	3810	3935	3902
Peso del Molde(gr)	1979	1979	1979	1979
Peso Suelo Húmedo (gr)	1699	1831	1956	1923
Volumen del Molde(cm <sup>3</sup> )	1062	1062	1062	1062
Densidad de Suelo Seco(gr/cm <sup>3</sup> )	1.600	1.724	1.842	1.811
Tarro N°	1	2	3	4
Peso del Suelo Húmedo + Tarro(g)	428.00	268.00	354.00	454.00
Peso del Suelo Seco + Tarro(g)	397.00	249.00	320.00	401.00
Peso del Agua(g)	31.00	19.00	34.00	53.00
Peso del Tarro(g)	69.50	85.00	63.00	64.30
Peso del Suelo Seco(g)	327.50	164.00	257.00	336.70
Contenido de Humedad (%)	9.466	11.585	13.230	15.741
Densidad de Suelo Seco(gr/cm <sup>3</sup> )	1.461	1.545	1.627	1.564

Fuente: Elaboración propia.

**Grafico N°07** Curva Densidad Seca Vs Contenido de Humedad Experimental de la Calicata N°02



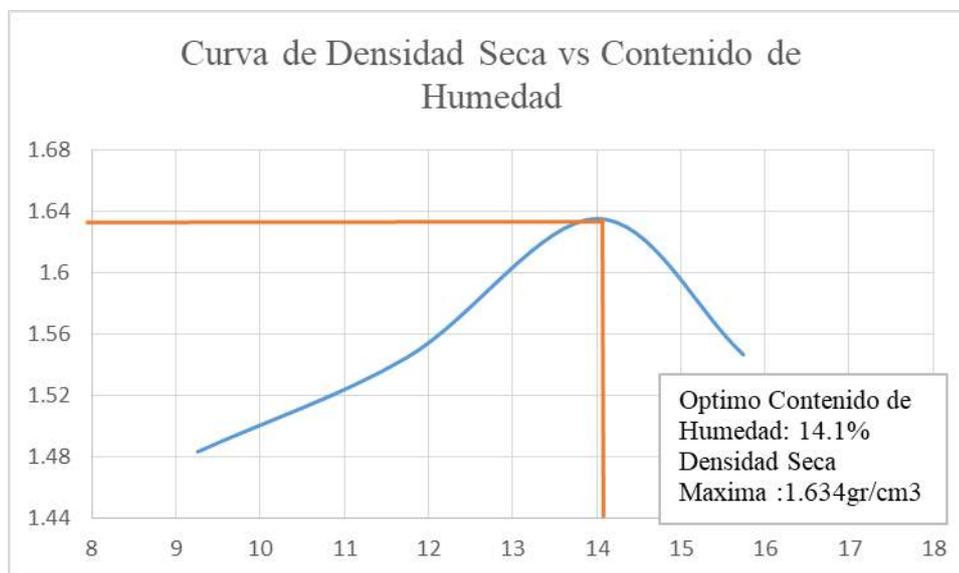
**Tabla N°19** Proctor Modificado Patrón de la Calicata N°03

**PROCTOR-CALICATA N°03-PATRON**

Peso Suelo Húmedo + Molde(gr)	3700	3812	3923	3880
Peso del Molde(gr)	1979	1979	1979	1979
Peso Suelo Húmedo (gr)	1721	1833	1944	1901
Volumen del Molde(cm3)	1062	1062	1062	1062
Densidad de Suelo Seco(gr/cm3)	1.621	1.726	1.831	1.790
Tarro N°	1	2	3	4
Peso del Suelo Húmedo + Tarro(g)	400.00	380.00	354.00	454.00
Peso del Suelo Seco + Tarro(g)	372.00	349.00	320.00	401.00
Peso del Agua(g)	28.00	31.00	34.00	53.00
Peso del Tarro(g)	69.50	85.00	63.00	64.30
Peso del Suelo Seco(g)	302.50	264.00	257.00	336.70
Contenido de Humedad (%)	9.256	11.742	13.230	15.741
Densidad de Suelo Seco(gr/cm3)	1.483	1.545	1.617	1.547

Fuente: Elaboración propia.

**Grafico N°08** Curva Densidad Seca Vs Contenido de Humedad Patrón de la Calicata N°03



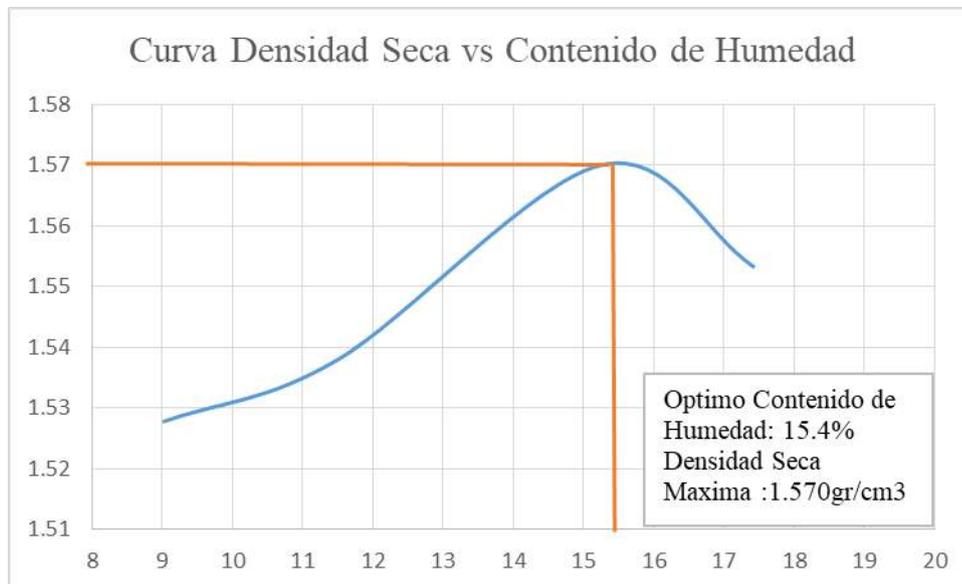
**Tabla N°20** Proctor Modificado Experimental de la Calicata N°03

**PROCTOR-CALICATA N°03-EXPERIMENTAL**

Peso Suelo Húmedo + Molde(gr)	3748	3800	3902	3916
Peso del Molde(gr)	1979	1979	1979	1979
Peso Suelo Húmedo (gr)	1769	1821	1923	1937
Volumen del Molde(cm3)	1062	1062	1062	1062
Densidad de Suelo Seco(gr/cm3)	1.67	1.71	1.81	1.82
Tarro N°	1	2	3	4
Peso del Suelo Húmedo + Tarro(g)	456.00	570.00	350.00	590.00
Peso del Suelo Seco + Tarro(g)	424.00	520.00	312.00	512.00
Peso del Agua(g)	32.00	50.00	38.00	78.00
Peso del Tarro(g)	69.50	85.00	63.00	64.30
Peso del Suelo Seco(g)	354.50	435.00	249.00	447.70
Contenido de Humedad (%)	9.03	11.49	15.26	17.42
Densidad de Suelo Seco(gr/cm3)	1.53	1.54	1.57	1.55

Fuente: Elaboración propia.

**Grafico N°09** Curva Densidad Seca Vs Contenido de Humedad Experimental de la Calicata N°03



**Tabla N°21** Contenido de Humedad Patrón de la Calicata N°01

---

<b>CONTENIDO DE HUMEDAD-CALICATA N°01-PATRON</b>		
Suelo Húmedo + Tarro	387.00	387.00
Suelo Seco + Tarro	373.00	373.00
Tarro	63.00	63.00
Peso del Agua	14.00	14.00
Suelo Seco	310.00	310.00
Contenido de Humedad	4.52	4.52

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla N°22** Contenido de Humedad Experimental de la Calicata N°01

---

<b>CONTENIDO DE HUMEDAD-CALICATA N°01- EXPERIMENTAL</b>		
Suelo Húmedo + Tarro	325.0	325.0
Suelo Seco + Tarro	315.0	315.0
Tarro	63.0	63.0
Peso del Agua	10.0	10.0
Suelo Seco	252.0	252.0
Contenido de Humedad	4.0	4.0

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla N°23** Contenido de Humedad Patrón de la Calicata N°02

---

<b>CONTENIDO DE HUMEDAD-CALICATA N°02-PATRON</b>		
Suelo Húmedo + Tarro	441.00	441.00
Suelo Seco + Tarro	429.00	429.00
Tarro	63.00	63.00
Peso del Agua	12.00	12.00
Suelo Seco	366.00	366.00
Contenido de Humedad	3.28	3.28

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla N°24** Contenido de Humedad Experimental de la Calicata N°02

---

**CONTENIDO DE HUMEDAD-CALICATA N°02-EXPERIMENTAL**

---

Suelo Húmedo + Tarro	413.0	413.0	
Suelo Seco + Tarro	400.0	400.0	
Tarro	63.0	63.0	
Peso del Agua	13.0	13.0	
Suelo Seco	337.0	337.0	
Contenido de Humedad	3.9	3.9	%

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla N°25** Contenido de Humedad Patrón de la Calicata N°03

---

**CONTENIDO DE HUMEDAD-CALICATA N°03-PATRON**

---

Suelo Húmedo + Tarro	415.0	415.0	
Suelo Seco + Tarro	400.0	400.0	
Tarro	63.0	63.0	
Peso del Agua	15.0	15.0	
Suelo Seco	337.0	337.0	
Contenido de Humedad	4.5	4.5	%

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla N°26** Contenido de Humedad Experimental de la Calicata N°03

---

**CONTENIDO DE HUMEDAD-CALICATA N°03-EXPERIMENTAL**

---

Suelo Húmedo + Tarro	450.00	450.00	
Suelo Seco + Tarro	436.00	436.00	
Tarro	63.00	63.00	
Peso del Agua	14.00	14.00	
Suelo Seco	373.00	373.00	
Contenido de Humedad	3.75	3.75	%

Fuente: Elaboración propia.

**c) CAPACIDAD DE SOPORTE - CBR**

La prueba se llevó a cabo con el contenido óptimo de humedad obtenido en el ensayo de Próctor Modificado después de sumergir las muestras patrón y experimental de las calicatas C1, C2, C3 durante 96 horas (4 días), y con una carga de 4,5 kg.

**Tabla N°27** Cuadro Resumen del Ensayo de CBR para diferentes energías de compactación y diferentes porcentajes de cal y carbón adicionados en la calicata N°01

PENETRACIÓN	N° GOLPES	CAPACIDAD DE SOPORTE	
		0%	4% de cal y 7% de carbón
2.54mm	56	16.2	29.0
	25	12.2	17.6
	12	8.8	10.3

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla N°28** Cuadro Resumen del Ensayo de CBR para diferentes energías de compactación y diferentes porcentajes de cal y carbón adicionados en la calicata N°02

PENETRACIÓN	N° GOLPES	CAPACIDAD DE SOPORTE	
		0%	4% de cal y 7% de carbón
2.54mm	56	15.4	35.3
	25	12.1	22.8
	12	8.7	13.2

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla N°29** Cuadro Resumen del Ensayo de CBR para diferentes energías de compactación y diferentes porcentajes de cal y carbón adicionados en la calicata N°03

PENETRACIÓN	N° GOLPES	CAPACIDAD DE SOPORTE	
		0%	4% de cal y 7% de carbón
2.54mm	56	14	32.2
	25	10.0	20.7
	12	7.4	14.3

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla N°30** Capacidad de Soporte a 2.54mm de penetración de calicata N°01.

<b>PORCENTAJES DE CAL Y CARBÓN ADICIONADOS</b>	<b>CBR A 2.54MM DE PENETRACIÓN</b>	
	<b>100% MDS</b>	<b>95%MDS</b>
0%	16.2	11.8
4% y 7%	29.0	17.5

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla N°31** Capacidad de Soporte a 2.54mm de penetración de calicata N°02.

<b>PORCENTAJES DE CAL Y CARBÓN ADICIONADOS</b>	<b>CBR A 2.54MM DE PENETRACIÓN</b>	
	<b>100% MDS</b>	<b>95%MDS</b>
0%	15.4	12.0
4% y 7%	35.3	25.0

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla N°32** Capacidad de Soporte a 2.54mm de penetración de calicata N°03.

<b>PORCENTAJES DE CAL Y CARBÓN ADICIONADOS</b>	<b>CBR A 2.54MM DE PENETRACIÓN</b>	
	<b>100% MDS</b>	<b>95%MDS</b>
0%	14.0	9.8
4% y 7%	32.2	19.8

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla N°33 CBR (95% M.D.S.) según adición de carbón (7%) y cal (4%)**

<b>CALICATAS</b>	<b>RESISTENCIA AL CORTE (CBR) (CON ADICIÓN DE LA MEZCLA)</b>	
	<b>0%</b>	<b>7% CARBÓN Y 4% CAL</b>
C1	11,80	17,50
C2	12,00	25,00
C3	9,80	19,80
Media	11,20	20,767

Fuente: Elaboración propia.

$$t = -4.111 \quad p=0.015 \quad p<0.05$$

Después de calcular la prueba de normalidad con Shapiro Will ( $p>0.05$  para todos los casos) y Homogeneidad de Varianza ( $F=3.581$  y  $p= 0.131$ ), se procedió a calcular la prueba e hipótesis t-Student para muestras independientes y siendo  $p<0.05$  podemos decir que existe una diferencia significativa entre la media de la resistencia patrón (0% de adición) y la media de la resistencia experimental (7% de Carbón y 4% de cal) a un 95% de la máxima densidad seca (M.D.S.).

Finalmente podemos decir que con la adición de 7% de Carbón y 4% de cal a un 95% de la máxima densidad seca (M.D.S.) se logra mejorar la capacidad de soporte de la Vía Cascajal.

**Tabla N°34** CBR (100% M.D.S.) según adición de carbón (7%) y cal (4%)

CALICATAS	RESISTENCIA AL CORTE (CBR) (CON ADICIÓN DE LA MEZCLA)	
	0%	7% CARBÓN Y 4% CAL
C1	16,20	29,00
C2	15,40	35,30
C3	14,00	32,20
Media	15,200	32,167

Fuente: Elaboración propia.

$$t = -8.795 \quad p=0.001 \quad p<0.01$$

Después de calcular la prueba de normalidad con Shapiro Will ( $p>0.05$  para todos los casos) y Homogeneidad de Varianza ( $F= 1.466$  y  $p= 0.293$ ), se procedió a calcular la prueba e hipótesis t-Student para muestras independientes y siendo  $p<0.01$  podemos decir que existe una diferencia altamente significativa entre la media de la resistencia patrón (0% de adición) y la media de la resistencia experimental (7% de Carbón y 4% de cal) a un 100% de la máxima densidad seca (M.D.S.)

Finalmente podemos decir que con la adición de 7% de Carbón y 4% de cal a un 100% de la máxima densidad seca (M.D.S.) se logra mejorar la capacidad de soporte de la Vía Cascajal.

#### IV. ANALISIS Y DISCUSION

##### COMPOSICION QUIMICA:

- De acuerdo al análisis de Fluorescencia de Rayos X del carbón mineral encontramos los siguientes compuestos:

Trióxido de Aluminio ( $AL_2O_3$ ) en 33.160% % y Dióxido de Silicio ( $SiO_2$ ) en 54.802% dichos valores se encuentran en la tabla N°10, los resultados obtenidos son favorables ya que mejoró la capacidad de soporte del suelo de la Vía Cascajal. Comparando con la investigación de **Morales (2016)** se observó que el porcentaje de Trióxido de Aluminio ( $AL_2O_3$ ) aumento a 51.49% cuando el carbón es calcinado y el porcentaje de Dióxido de Silicio ( $SiO_2$ ) disminuyo a 29.60% al calcinarse el carbón.

- De acuerdo al análisis de Fluorescencia de Rayos X a la cal encontramos los siguientes compuestos:

Oxido de Calcio ( $CaO$ ) de 84.468% y Trióxido de Aluminio ( $AL_2O_3$ ) en 12.831% dichos valores se encuentran en la tabla N°11, los resultados obtenidos son favorables ya que mejoró la capacidad de soporte del suelo de la Vía Cascajal. Desacuerdo a las sugerencia de **Jara (2014)** y corroborando con la investigación de **Coninfra (2009)** se llegó a la conclusión de que la cantidad optima de adición de cal para sub rasante es el 4%.

##### ANALISIS GRANULOMETRICO:

- De la calicata N°01 expresado en la Tabla N°12 observamos que el mayor porcentaje de peso retenido parcial se encuentra pasando la malla N°200 con

un porcentaje de 64.8% el cual tiene un diámetro de malla de 0.075mm y 0.005mm respectivamente , al corroborar con la tabla N°07 de la norma ASTM(D422) el suelo se clasifica como un material limo de la clasificación AASHTO el suelo se clasifica como un de tipo A-4 (Suelo limoso) y su correlación en la clasificación SUCS seria del tipo ML(Limo baja plasticidad arenoso). De acuerdo a **Vásquez (2017)** se corrobora que el suelo de la Vía Cascajal es un suelo limoso.

- De la calicata N°02 expresado en la Tabla N°13 observamos que el mayor porcentaje de peso retenido parcial se encuentra pasando la malla N°200 con un porcentaje de 57.0% el cual tiene un diámetro de malla de 0.075mm y 0.005mm respectivamente , al corroborar con la tabla N°07 de la norma ASTM(D422) el suelo se clasifica como un material limo de la clasificación AASHTO el suelo se clasifica como un de tipo A-4 (Suelo limoso) y su correlación en la clasificación SUCS seria del tipo ML(Limo baja plasticidad arenoso). De acuerdo a **Vásquez (2017)** se corrobora que el suelo de la Vía Cascajal es un suelo limoso.
- De la calicata N°03 expresado en la Tabla N°14 observamos que el mayor porcentaje de peso retenido parcial se encuentra pasando la malla N°200 con un porcentaje de 57.4% el cual tiene un diámetro de malla de 0.075mm y 0.005mm respectivamente , al corroborar con la tabla N°07 de la norma ASTM(D422) el suelo se clasifica como un material limo de la clasificación AASHTO el suelo se clasifica como un de tipo A-4 (Suelo limoso) y su correlación en la clasificación SUCS seria del tipo ML(Limo baja plasticidad

arenoso). De acuerdo a **Vásquez (2017)** se corrobora que el suelo de la Vía Cascajal es un suelo limoso.

**PROCTOR MODIFICADO:**

- Del ensayo de Proctor modificado de la calicata N°01 expresado en los gráficos N°04 y N°05 se observó como la relación agua /suelo a través de un rango de proporciones de agua propuestas, llegan a la más efectiva compactación y óptimo contenido de humedad para ser usado en el ensayo de CBR y se obtenga una alta capacidad de soporte. De acuerdo a lo ensayado en la calicata N°01 se observó que la muestra patrón absorbió más agua que la muestra experimental generando más expansión en la muestra patrón y la densidad seca máxima aumenta al adicionarse 4% de cal y 7% de carbón en el suelo al comparar los gráficos N°05 y N°06.
- Del ensayo de Proctor modificado de la calicata N°02 expresado en los gráficos N°06 y N°07 se observó como la relación agua /suelo a través de un rango de proporciones de agua propuestas, llegan a la más efectiva compactación y óptimo contenido de humedad para ser usado en el ensayo de CBR y se obtenga una alta capacidad de soporte. De acuerdo a lo ensayado en la calicata N°02 se observó que la muestra patrón absorbió más agua que la muestra experimental generando más expansión en la muestra patrón y la densidad seca máxima aumenta al adicionarse 4% de cal y 7% de carbón en el suelo al comparar los gráficos N°06 y N°07.
- Del ensayo de Proctor modificado de la calicata N°03 expresado en los gráficos N°08 y N°09 se observó como la relación agua /suelo a través de un rango de

proporciones de agua propuestas, llegan a la más efectiva compactación y optimo contenido de humedad para ser usado en el ensayo de CBR y se obtenga una alta capacidad de soporte. De acuerdo a lo ensayado en la calicata N°03 se observó que la muestra experimental absorbió más agua que la muestra patrón generando más expansión en la muestra experimental y la densidad seca máxima disminuye al adicionarse 4% de cal y 7% de carbón en el suelo al comparar los gráficos N°08 y N°09.

#### **CBR AL 95% DE SU MDS:**

- Para la calicata N°01 los resultados obtenidos del ensayo de CBR al 95% de la máxima densidad seca y a una penetración de 2.54mm expresada en la tabla N°30, se registra que al adicionarse 4% de cal y 7% de carbón al suelo este mejora su capacidad de soporte de 11.8 a 17.5 lo que le coloca en la categoría de sub rasante buena según la tabla N°08 **del MTC (2014)**. Este aumento en su capacidad de soporte se debe a que la cal produce una reacción rápida de floculación e intercambio iónico y con el carbón una reacción lenta tipo puzolanico. Comparando con el trabajo de **Vásquez (2017) y Acosta y Benson (2003)** se observó una mayor mejora al adicionar cal y carbón al suelo de la Vía Cascajal en comparación de solo adicionar cenizas de carbón al suelo de la Vía Cascajal.
- Para la calicata N°02 los resultados obtenidos del ensayo de CBR al 95% de la máxima densidad seca y a una penetración de 2.54mm expresada en la tabla N°31, se registra que al adicionarse 4% de cal y 7% de carbón al suelo este mejora su capacidad de soporte de 12.0 a 25.0 lo cual hace que la categoría de

la sub rasante cambie de buena a muy buena según la tabla N°08 del **MTC (2014)**. Este aumento en su capacidad de soporte se debe a que la cal produce una reacción rápida de floculación e intercambio iónico y con el carbón una reacción lenta tipo puzolanico. Comparando con el trabajo de **Vásquez (2017)** y **Acosta y Benson (2003)** se observó una mayor mejora al adicionar cal y carbón al suelo de la Vía Cascajal en comparación de solo adicionar cenizas de carbón al suelo de la Vía Cascajal.

- Para la calicata N°03 los resultados obtenidos del ensayo de CBR al 95% de la máxima densidad seca y a una penetración de 2.54mm expresada en la tabla N°32, se registra que al adicionarse 4% de cal y 7% de carbón al suelo este mejora su capacidad de soporte de 9.8 a 19.8 lo cual hace que la categoría de la sub rasante cambie de regular a buena según la tabla N°08 del **MTC (2014)**. Este aumento en su capacidad de soporte se debe a que la cal produce una reacción rápida de floculación e intercambio iónico y con el carbón una reacción lenta tipo puzolanico. Comparando con el trabajo de **Vásquez (2017)** y **Acosta y Benson (2003)** se observó una mayor mejora al adicionar cal y carbón al suelo de la Vía Cascajal en comparación de solo adicionar cenizas de carbón al suelo de la Vía Cascajal.

#### **CBR AL 100% DE SU MDS:**

- De los resultados obtenidos del ensayo de CBR al 100% de la máxima densidad seca y a una penetración de 2.54mm expresada en la tabla N°30, se registra que al adicionarse 4% de cal y 7% de carbón al suelo este mejora su capacidad de soporte de 16.2 a 29.0 lo cual hace que la categoría de la sub rasante cambie de

buena a muy buena según la tabla N°08 del **MTC (2014)**. Este aumento en su capacidad de soporte se debe a que la cal produce una reacción rápida de floculación e intercambio iónico y con el carbón una reacción lenta tipo puzolanico. Comparando con el trabajo de **Vásquez (2017) y Acosta y Benson (2003)** se observó una mayor mejora al adicionar cal y carbón al suelo de la Vía Cascajal en comparación de solo adicionar cenizas de carbón al suelo de la Vía Cascajal.

- De los resultados obtenidos del ensayo de CBR al 100% de la máxima densidad seca y a una penetración de 2.54mm expresada en la tabla N°31, se registra que al adicionarse 4% de cal y 7% de carbón al suelo este mejora su capacidad de soporte de 15.4 a 35.3 lo cual hace que la categoría de la sub rasante cambie de buena a excelente según la tabla N°08 del **MTC (2014)**. Este aumento en su capacidad de soporte se debe a que la cal produce una reacción rápida de floculación e intercambio iónico y con el carbón una reacción lenta tipo puzolanico. Comparando con el trabajo de **Vásquez (2017) y Acosta y Benson (2003)** se observó una mayor mejora al adicionar cal y carbón al suelo de la Vía Cascajal en comparación de solo adicionar cenizas de carbón al suelo de la Vía Cascajal.
- De los resultados obtenidos del ensayo de CBR al 100% de la máxima densidad seca y a una penetración de 2.54mm expresada en la tabla N°32, se registra que al adicionarse 4% de cal y 7% de carbón al suelo este mejora su capacidad de soporte de 14.0 a 32.2 lo cual hace que la categoría de la sub rasante cambie de buena a excelente según la tabla N°08 del **MTC (2014)**. Este aumento en su

capacidad de soporte se debe a que la cal produce una reacción rápida de floculación e intercambio iónico y con el carbón una reacción lenta tipo puzolanico. Comparando con el trabajo de **Vásquez (2017)** y **Acosta y Benson (2003)** se observó una mayor mejora al adicionar cal y carbón al suelo de la Vía Cascajal en comparación de solo adicionar cenizas de carbón al suelo de la Vía Cascajal.

## V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### CONCLUSIONES.

- La calcinación del carbón produce que la composición química expresada en porcentajes de óxidos varié respecto a la composición química del carbón expresada en porcentajes de óxidos sin ser activado térmicamente. El carbón contiene una composición química expresada en óxidos de grandes porcentajes de Dióxido de Silicio ( $SiO_2$ ) en 54.802% y Trióxido de Aluminio ( $AL_2O_3$ ) en 33.16%.
- La cal presento propiedades de adhesión y cohesión; concluyendo así que reacciona como un material cementante. La cal contiene una composición química expresada en óxidos de grandes porcentajes de Oxido de Calcio ( $CaO$ ) en 84.468% y Trióxido de Aluminio ( $AL_2O_3$ ) en 12.831%
- Los CBR al 95% de la MDS ensayados en el laboratorio de la Universidad San Pedro nos da como conclusión que al adicionarse un 4% de cal y un 7% de carbón al suelo de la vía Cascajal esta mejora su capacidad de soporte en comparación al suelo sin adición, el aumento expresado en porcentajes respecto a la muestra patrón y experimental para la calicata N°01 es de

48.305%, para la calicata N°02 y N°03 es de 108.333%. Este mejoramiento en su capacidad de soporte hace que cambie de una categoría de sub rasante a una inmediata superior categoría según lo indica la tabla N°08.

- Los CBR al 100% de la MDS ensayados en el laboratorio de la Universidad San Pedro nos da como conclusión que al adicionarse un 4% de cal y un 7% de carbón al suelo de la vía Cascajal esta mejora su capacidad de soporte en comparación al suelo sin adición, el aumento expresado en porcentajes respecto a la muestra patrón y experimental para la calicata N°01 es de 79.012%, para la calicata N°02 es de 129.221% y para la calicata N°03 es de 152.143%. este mejoramiento en su capacidad de soporte hace que cambie de una categoría de sub rasante a una o dos categorías superiores según lo indica la tabla N°08.

## **RECOMENDACIONES**

- Evaluar las muestras de CBR a mas días para que el carbón produzca sus reacciones puzolanicas.
- El material debe ser extraído y almacenado en recipientes que no tengan agentes contaminantes que puedan variar la composición química del material.
- Realizar el análisis de fluorescencia de rayos x cada vez que se extraiga carbón mineral ya que puede cambiar su composición química al ser extraído de otro punto de la mina.
- Adicionar la cal y carbón a suelos de material fino ya que mejora su categoría de sub rasante según la tabla N°08.
- El material tiene que ser selecto, preparado y triturado en condiciones limpias, libres de impurezas las cuales pueden perjudicar la capacidad de soporte.
- Secar al aire libre la mezcla de suelo si esta tiene mucha humedad.

## **VI. AGRADECIMIENTO**

Agradecer primero a DIOS por darme bendiciones en todo el desarrollo de mi tesis, luego agradecer mi familia, amigos y conocidos, quienes de manera constante fueron una motivación que me permitió perseverar con mis responsabilidades como estudiante de nivel superior.

A mi asesor Ing. Gumercindo Flores Reyes quien me brindo su tiempo y apoyo en esta etapa de mi proyecto. A todos mis profesores por su esfuerzo y dedicación por transmitirnos sus conocimientos.

**Vásquez Cabrera Alexander Mauricio**

## VII.REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Acosta, H y Benson, C (2003) Estabilización de Suelos y Secado usando Cenizas Volantes. Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental en el informe de Geo-Ingeniería No. 03-03 de la Universidad de Wisconsin, Madison-EE.UU. Recuperado: <https://www.whrp.org>
- Alonso,C y de Luxan ,M.(1995)-, Aplicaciones de las cenizas volantes en el campo de la construcción(tesis de investigación). Instituto de Ciencias de la Construcción. Eduardo Torroja, Madrid-España, Recuperado: <https://www.cervantes.com/libro/9788460533191/aplicaciones-de-cenizas-volantes-en-campo-de-la-construccion-experiencia-espanola/>
- Bauza, D (2003) Estabilización de suelos con cal (libro de investigación). Madrid, España. Recuperado: <https://civilgeeks.com/2014/09/04/guia-para-la-estabilizacion-de-suelos-con-cal-juan-diego-bauza-castello/>
- Braja, M (2001) Fundamentos de Ingeniería de Geotécnica (libro de investigación).Recuperado:<https://es.scribd.com/doc/64998551/Fundamentos-de-Ingenieria-Geotecnica-Braja-M-Das>
- Coninfra (2009) Estabilización de suelos con cemento portland y cal hidratada en pavimentos de la región amazónica del Perú. Congreso de Infraestructura de transporte (tesis de posgrado). Sao Paulo, Brasil. Recuperado: <https://www.ipen.br/biblioteca/2009/eventos/14599>

- Giraldo, M & Blas, W (2008) Minería actual del carbón en el norte del Perú (revista del Instituto de Investigaciones Figmmg).Universidad Nacional Mayor de San marcos, Lima, Perú. Recuperado: <https://www.revistasinvestigacion.unmsm.edu.pe/index.php/iigeo/article/download/497/423>
- Jara, R (2014) Efecto de la cal como estabilizante de una sub rasante de suelo arcilloso (tesis de pregrado).Universidad Nacional de Cajamarca, Cajamarca,Perú.  
Recuperado:<http://repositorio.unc.edu.pe/bitstream/handle/UNC/686/T%20631.4%20J37%202014.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Morales, B (2016) Resistencia al Corte de un suelo arcilloso a nivel de sub rasante sustituyendo 10 % por cenizas de Carbón mineral en el tramo Cabana – Huandoval (seminario de tesis). Universidad San Pedro, Ancash, Perú.
- Mtc (2014) Suelos, geología, geotecnia y pavimentos. Recuperado: [http://transparencia.mtc.gob.pe/idm\\_docs/P\\_recientes/4515.pdf](http://transparencia.mtc.gob.pe/idm_docs/P_recientes/4515.pdf)
- Vásquez, A. (2017) Capacidad de soporte en vía de bajo volumen de transito con adición de cenizas de carbón a nivel de sub rasante (seminario de tesis). Universidad San Pedro, Ancash, Perú.
- Villalaz, C (2004).Mecánica de suelos y cimentaciones. Balderas, México.  
Recuperado:<https://stehven.files.wordpress.com/2015/06/mecanica-desuelos-y-cimentaciones-crespo-villalaz.pdf>

# **ANEXOS**

## **ANEXOS N°1**

### **Análisis de Composición Químico del carbón**



**Informe N°72-LAQ/2018**

**Análisis de carbón mineral por FRXDE**

**Introducción.**

Se analizó por fluorescencia de rayos-X dispersiva en energía (FRXDE) una muestra de carbón mineral a pedido del Sr. **Vásquez Cabrera, Alexander Mauricio**, alumno de la Universidad San Pedro, sede Chimbote, y como parte de su proyecto de tesis titulada:

**“Capacidad de Soporte al Estabilizar el Suelo de la Vía Cascajal con Adición de Carbón y Cal a Nivel de Subrasante.”**

La muestra está en forma de polvo de grano fino de color negro.

**Arreglo experimental.**

Se utilizó un espectrómetro de FRXDE marca Amptek con ánodo de oro que operó a un voltaje de 30 kV y una corriente de 15  $\mu$ A. Los espectros se acumularon durante un intervalo neto de 300 s utilizando 2048 canales, con ángulos de incidencia y salida de alrededor de 45°; distancia muestra a fuente de rayos-X de 4 cm y distancia de muestra a detector de 2 cm aprox. La tasa de conteo, la cual depende de la geometría del arreglo experimental y de la composición elemental de la muestra, fue de alrededor de 6320 cts/s.

Esta técnica de FRXDE permite detectar la presencia de elementos químicos de número atómico Z igual y mayor que 13 mediante la detección de los rayos-X característicos que emiten los átomos. Las energías de estos rayos-X característicos aumentan con el valor de Z y pueden ser detectados siempre y cuando posean suficiente energía para poder penetrar la ventana del detector. Por esta limitación los picos de Mg (Z=12) no pueden ser registrados en el espectro.

La fuente de rayos-X utilizada emite rayos-X en dos componentes: un espectro con una distribución continua de 0 a 30 keV, y la otra que contiene los rayos-X característicos del tipo L y M de oro que se producen por el bombardeo del ánodo por electrones energéticos. Como consecuencia de esto, los espectros de FRXDE poseen tres componentes principales: una



# UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS

(Universidad del Perú, Decana de América)

## FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS

### Laboratorio de Arqueometría

---

componente continua que es consecuencia de la dispersión por la muestra de los rayos-X de la componente continua de la fuente, un espectro discreto producido por la dispersión en la muestra de los rayos-X característicos de oro de la fuente, y el espectro discreto de los rayos-X característicos emitidos por la muestra de acuerdo a los elementos que contiene..

La presencia en el espectro de los rayos-X de oro dispersados por la muestra interfiere con la detección de los rayos-X característicos de elementos como germanio y selenio, a menos que se encuentren en altas concentraciones.

El análisis elemental de la muestra se hace primero de manera cualitativa para identificar la presencia de elementos en la muestra. Para el análisis cuantitativo se utiliza un programa que se basa en el método de parámetros fundamentales y simula todo el arreglo experimental incluyendo: composición elemental de la muestra, geometría experimental, distribución espectral de los rayos-X que emite la fuente y su interacción con la muestra y el proceso de detección. En esta etapa se puede identificar la presencia de picos de rayos-X característicos que pudieron haber pasado inadvertidos en la parte cualitativa por superponerse a picos más intensos. Este programa se calibra usando una muestra de referencia certificada denominada "Suelo de San Joaquín" adquirida de la NIST.

#### **Resultados.**

En la Figura 1 se muestra el espectro de FRXDE de una muestra de carbón natural. La línea roja representa el espectro experimental y la línea azul el espectro calculado. Cubre el rango de energías de 1 a 18 keV que es el rango de interés en este estudio. En el espectro se puede observar la presencia del pico de argón, que es un gas inerte presente en el aire que respiramos. En general, cada pico identifica un elemento químico, comenzando por la izquierda con el pico de Al, seguido del pico de Si y así sucesivamente a medida que aumentan el número atómico del elemento y la energía del rayo-X.

La Tabla 1 muestra los resultados del análisis elemental de esta muestra de carbón natural. Las concentraciones están dadas en % de la masa total en términos de los óxidos más estables que se pueden formar en un proceso de calcinación. La suma en términos de contenido de



## FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS

### Laboratorio de Arqueometría

óxidos es bastante menor que 100%. Es probable que la muestra esté constituida en parte por compuestos de Na y/o Mg, que esta técnica no puede detectar, y/o diferentes de óxidos, y/o hay una ligera deficiencia en la calibración del instrumento. De manera particular, esta muestra es natural y debe contener compuestos orgánicos ricos en carbono y nitrógeno. Para mayores detalles sobre la composición estructural de la muestra se sugiere hacer un análisis por difracción de rayos-X.

Tabla 1. Composición elemental de carbón natural en % de masa.

Óxido	Concentración % masa	Normalizado al 100%
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	14.555	33.160
SiO <sub>2</sub>	24.060	54.802
SO <sub>2</sub>	1.137	2.591
K <sub>2</sub> O	0.902	2.054
CaO	0.436	0.994
TiO <sub>2</sub>	0.563	1.283
V <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.024	0.055
MnO	0.019	0.043
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2.084	4.747
Co <sub>3</sub> O <sub>4</sub>	0.006	0.014
Ni <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.014	0.032
CuO	0.013	0.029
ZnO	0.028	0.063
As <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.007	0.015
BrO <sub>2</sub>	0.011	0.025
SrO	0.09	0.019
Y <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.004	0.010
ZrO <sub>2</sub>	0.028	0.063
Total	43.904	100.00



# UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS

(Universidad del Perú, Decana de América)

## FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS

### Laboratorio de Arqueometría

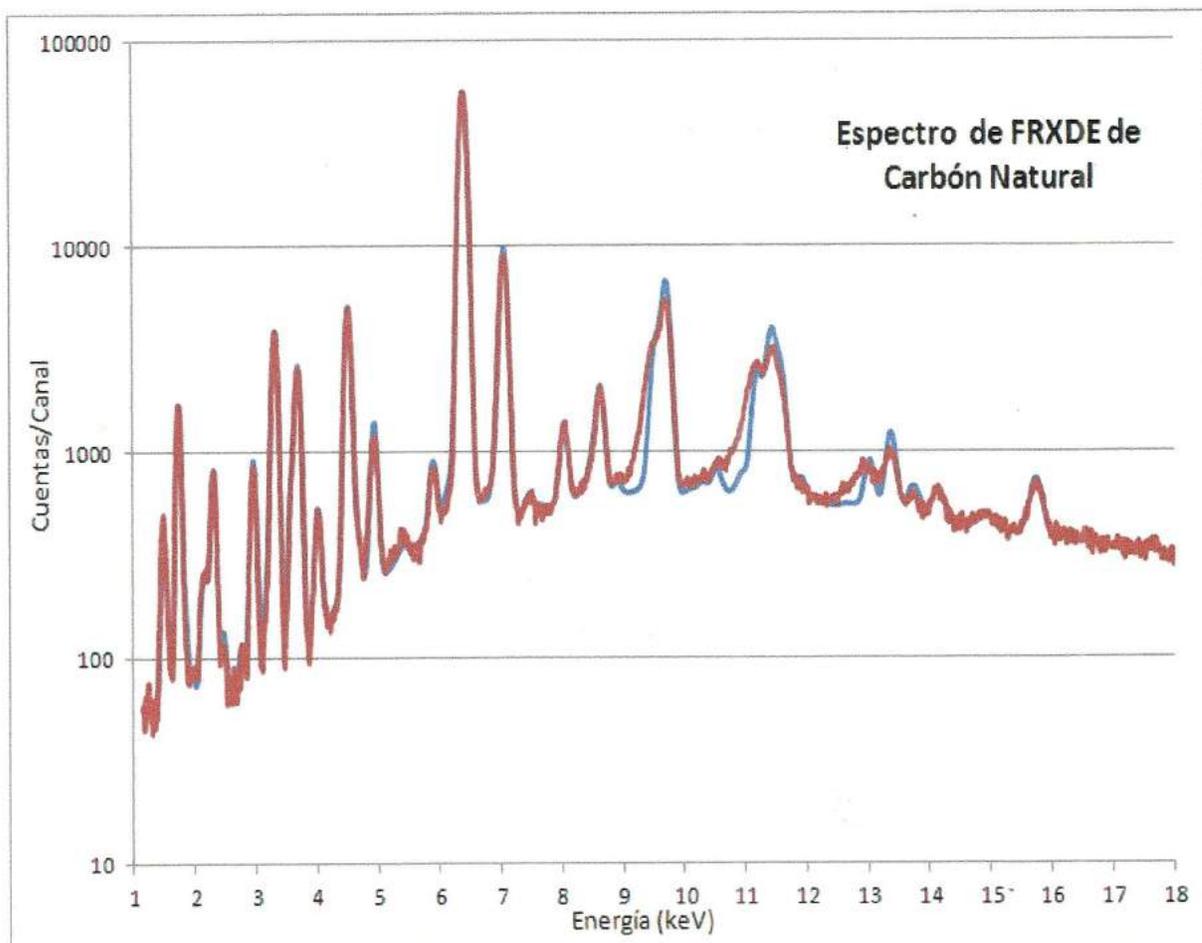


Figura 1. Espectro de FRXDE de carbón natural en escala semi logarítmica. Incluye el pico de Ar del aire y los picos de rayos-X de Au dispersados por la muestra. La curva en azul muestra el espectro simulado

Investigador Responsable:

Dr. Jorge A. Bravo Cabrejos.....

Laboratorio de Arqueometría



Lima, 06 de junio del 2018

## **ANEXOS N°2**

### **Análisis de Composición Químico de la cal**



# UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS

(Universidad del Perú, Decana de América)

## FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS

### Laboratorio de Arqueometría

#### Informe N°94-LAQ/2018

#### Análisis de una muestra de cal orgánica por FRXDE

##### Introducción.

Se analizó por fluorescencia de rayos-X dispersiva en energía (FRXDE) una muestra de cal orgánica del Sr. **Vásquez Carrera, Alexander Mauricio**, alumno de la Universidad de San Pedro, sede Chimbote, y como parte de su proyecto de tesis titulada:

#### “Capacidad de Soportar al Estabilizar el Suelo de la Vía Cascajal con Adición de Carbón y Cal a Nivel de Subrasante.”

La muestra es de color gris blanco y en forma de polvo fino.

##### Arreglo experimental.

Se utilizó un espectrómetro de FRXDE marca Amptek con ánodo de oro que operó a un voltaje de 30 kV y una corriente de 10  $\mu$ A. Los espectros se acumularon durante un intervalo neto de 300 s utilizando 2048 canales, con ángulos de incidencia y salida de alrededor de 45°; distancia muestra a fuente de rayos-X de 4 cm y distancia de muestra a detector de 2 cm. La tasa de conteo, la cual depende de la geometría del arreglo experimental y de la composición elemental de la muestra, fue de alrededor de 10759 cts/s

Esta técnica permite detectar la presencia de elementos químicos de número atómico Z igual y mayor que 13 mediante la detección de los rayos-X característicos que emiten los átomos. Las energías de estos rayos-X característicos aumentan con el valor de Z y pueden ser detectados siempre y cuando posean suficiente energía para poder penetrar la ventana del detector. Por esta limitación los picos de Mg (Z=12) no pueden ser registrados en el espectro.

La fuente de rayos-X utilizada emite rayos-X en dos componentes: un espectro con una distribución continua de 0 a 30 keV, y la otra que contiene los rayos-X característicos del tipo K y M de oro que se producen por el bombardeo del ánodo por electrones energéticos.. Como consecuencia de esto, los espectros de FRXDE poseen tres componentes principales: una componente continua que es consecuencia de la dispersión por la muestra de los rayos-X de la componente continua de la fuente, un espectro discreto producido por la dispersión en la muestra de los rayos-X característicos de oro de la fuente, y el espectro discreto de los rayos-X característicos emitidos por los elementos que contiene la muestra. La presencia en el espectro de los rayos-X de oro dispersados por la muestra interfiere con la detección de los rayos-X característicos de elementos como germanio, selenio y bromo, a menos que se encuentren en altas concentraciones.

El análisis elemental de las muestras se hace primero de manera cualitativa para identificar la presencia de elementos en la muestra. Para el análisis cuantitativo se utiliza un programa que se basa en el método de parámetros fundamentales y simula todo el arreglo experimental incluyendo: composición elemental de la muestra, geometría experimental, distribución espectral de los rayos-X que emite la fuente y su interacción con la muestra y el proceso de detección. En esta etapa se puede identificar la presencia de picos de rayos-X característicos que pudieron haber pasado inadvertidos en la parte cualitativa por superponerse a picos más intensos. Este programa se calibra usando una muestra de referencia certificada denominada “Suelo de San Joaquín” adquirida de la NIST.



**Resultados.**

La Figura 1 muestra el espectro de FRXDE de esta muestra de cal orgánica en línea roja en escala semi-logarítmica. La línea azul representa el espectro simulado. Cubre el rango de energías de 1 a 18 keV que es el rango de interés en este estudio. En el espectro se puede observar la presencia del pico de argón, que es un gas inerte presente en el aire que respiramos. A pesar que la concentración de Al es relativamente alta, su pico característico es débil debido a su bajo número atómico y la baja energía de sus rayos-X característicos.

La Tabla 1 muestra los resultados del análisis elemental de esta muestra de cal orgánica. Las concentraciones están dadas en % de la masa total en términos de los óxidos de los elementos presentes y normalizadas al 100%. Pero debe de recalcar que la técnica da directamente la concentración de los elementos químicos. Estos resultados se utilizan luego para determinar la concentración de los óxidos.

Tabla 1. Composición elemental de la muestra de cal orgánica en % de masa.

Óxido	% masa	Normalizado
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	11.663	12.831
SiO <sub>2</sub>	0.775	0.853
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.531	0.584
SO <sub>2</sub>	0.669	0.736
ClO <sub>2</sub>	0.152	0.168
K <sub>2</sub> O	0.016	0.018
CaO	76.780	84.468
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.003	0.003
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.052	0.057
Ni <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.021	0.023
CuO	0.004	0.005
ZnO	0.009	0.010
SrO	0.128	0.141
Y <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.003	0.003
ZrO <sub>2</sub>	0.006	0.007
In <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.030	0.033
La <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.055	0.061
Totales	90.898	100.00

La suma de las concentraciones de los óxidos es menor que 100% indicando que no se ha detectado picos de algunos elementos livianos como Na y/o Mg, que esta técnica no puede



detectar, y/o hay una ligera deficiencia en la calibración del instrumento. También puede deberse a que los elementos estén formando compuestos diferentes de óxidos.

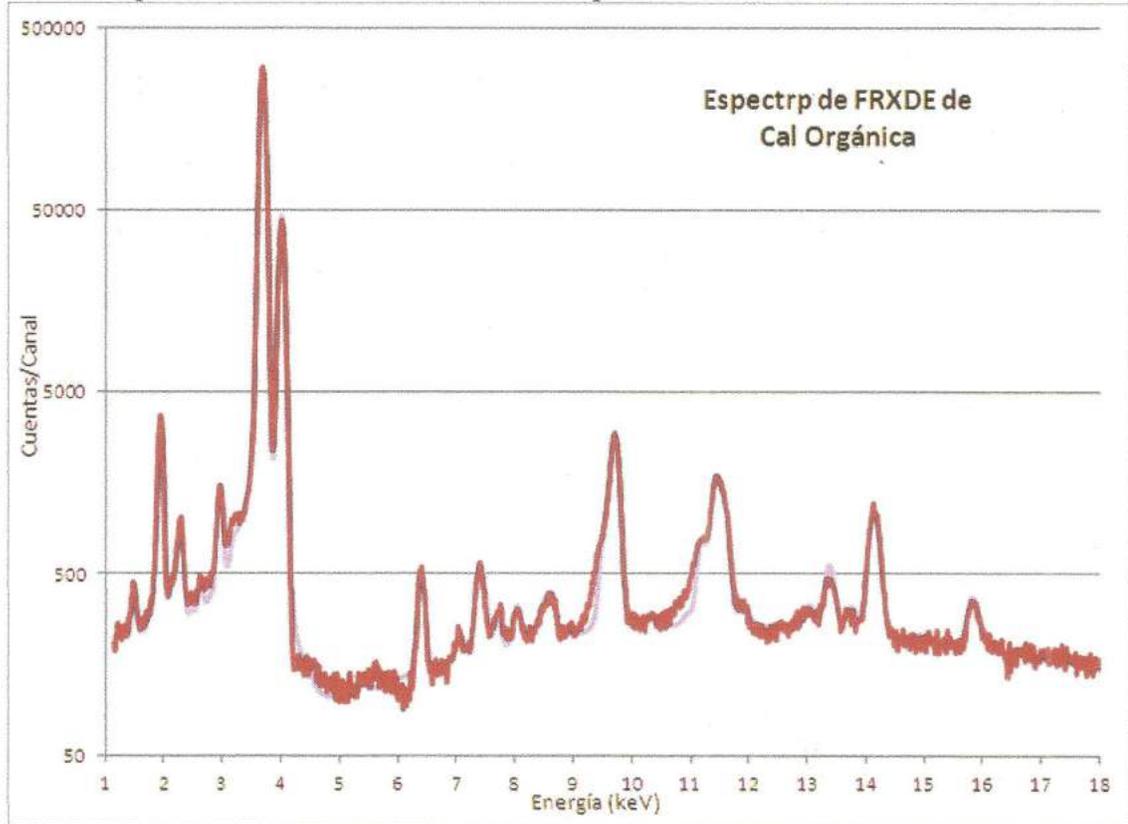


Figura 1. Espectro de FRXDE de una muestra de cal orgánica en escala semi logarítmica.. Incluye el pico de Ar del aire y los picos de rayos-X de Au dispersados por la muestra. La curva azul representa el espectro simulado.

Investigador Responsable:

Dr. Jorge A. Bravo Cabrejos.....  
Laboratorio de Arqueometría



Lima, 12 de julio del 2018

**ANEXOS N°3**  
**Ensayos de Laboratorio**



### ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO (ASTM D422)

SOLICITA: BACH. ALEXANDER MAURICIO VASQUEZ CABREJA  
 PROYECTO: CAPACIDAD DE SOPORTE AL ESTABLECIMIENTO AL SUELO DE LA VIGILANCIA AL CARBÓN Y CALA NIVEL DE FLD PASANTE  
 MAESTRAL: C. T. FLD PASANTE  
 FECHA: 28/09/2018

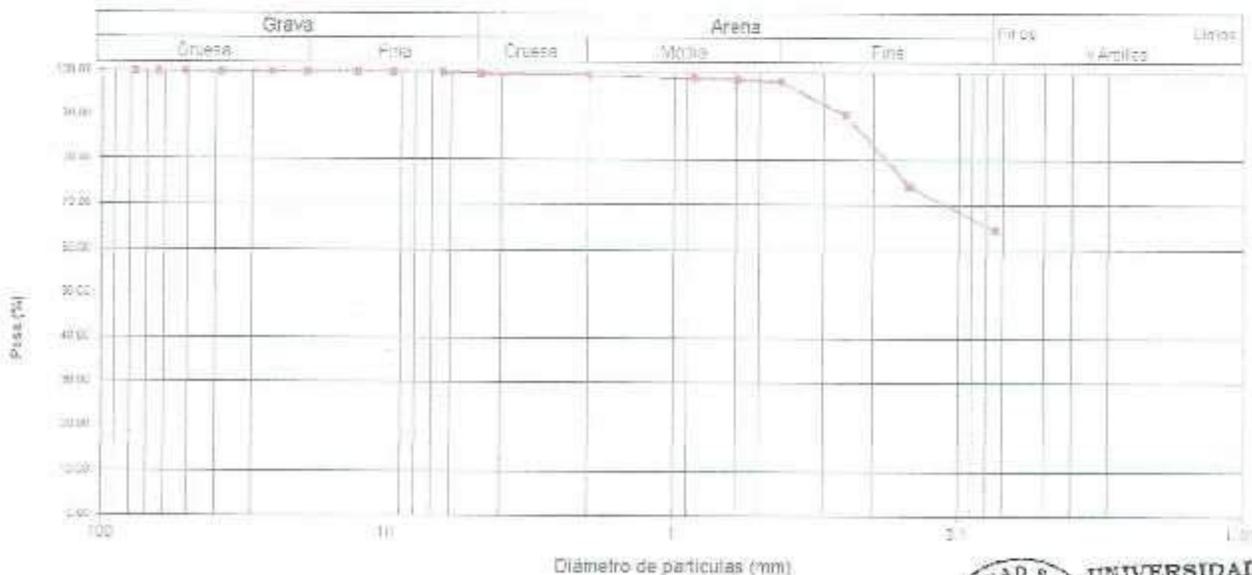
Peso Seco inicial	490	gr
Peso Seco Lavado	172.7	gr.
Peso perdido por lavado	317.3	gr.

CALICATA	: C - 1
ESTRATO	: M - 1
PROF. (m)	: 0.00 a 1.50

Tamiz/Abertura	Peso Retenido (gr.)	Retenido Parcial (%)	Retenido Acumulado (%)	Pasante (%)	Clasificación AASHTO
N° 2 1/2" (76.20)	0.0	0.0	0.0	100.0	Material incoherente Fines a más de 75 micras A-4 Suelo limoso
N° 2" (50.80)	0.0	0.0	0.0	100.0	
N° 1 1/2" (37.50)	0.0	0.0	0.0	100.0	
N° 1" (25.40)	0.0	0.0	0.0	100.0	
N° 3/4" (19.00)	0.0	0.0	0.0	100.0	
N° 1/2" (12.50)	0.0	0.0	0.0	100.0	Clasificación (S.U.C.S.)
N° 3/8" (9.50)	0.0	0.0	0.0	100.0	
N° 1/4" (6.30)	0.0	0.0	0.0	100.0	Suelo de partículas finas
N° 4 (4.75)	0.9	0.2	0.2	99.8	
N° 10 (2.00)	1.0	0.3	0.5	99.5	Límite por plasticidad arenoso ML
N° 20 (0.850)	2.6	0.5	1.0	99.0	
N° 30 (0.600)	1.5	0.3	1.3	98.7	Pasa tamiz N° 4 (%) : 99.5
N° 40 (0.425)	2.8	0.6	1.9	98.1	Pasa tamiz N° 200 (%) : 64.8
N° 60 (0.250)	38.6	7.5	9.4	90.6	D60 (mm) :
N° 100 (0.150)	79.1	16.1	25.5	74.5	D30 (mm) :
N° 200 (0.075)	47.6	9.7	35.2	64.8	D10 (mm) :
< 200	317.3	64.8	100.0	0.0	Cu
Total	490.0			100.0	Cc

Límite líquido LL	0
Límite plástico LP	0
Índice plasticidad IP	0

CURVA GRANULOMÉTRICA



UNIVERSIDAD SAN PEDRO  
 FACULTAD DE INGENIERÍA  
 Laboratorio de Mecánica de Suelos y Ensayo de Materiales  
 Ing. Jorge Montañez Reyes  
 JEFE



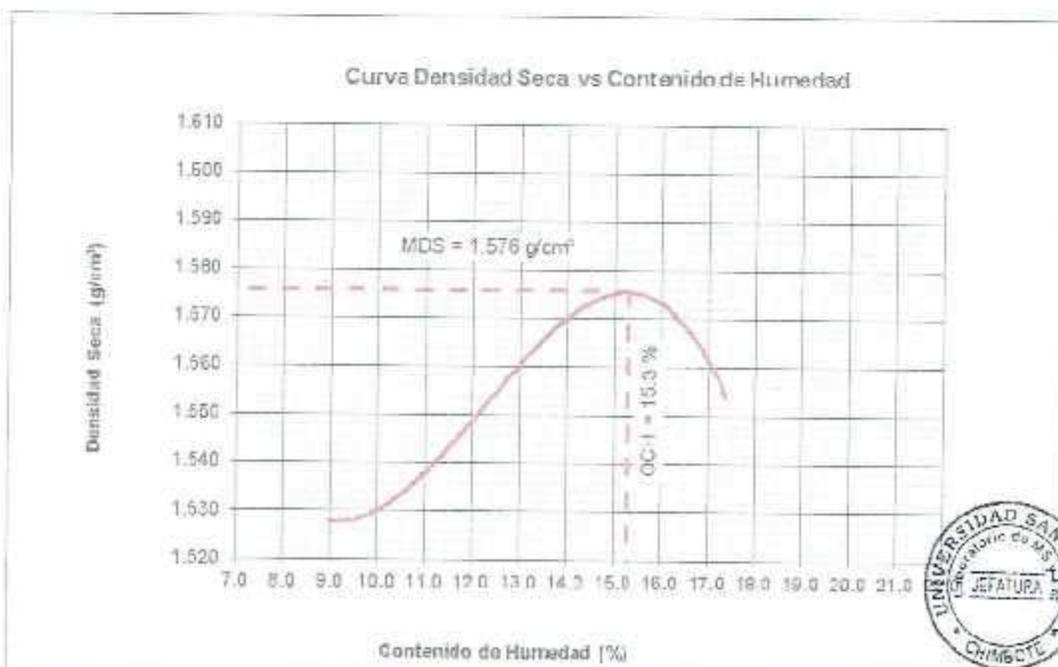
## PROCTOR MODIFICADO

NORMA ASTM D- 1557/ MTC E 115

SOLICITA BACH. ALEXANDER MAURICIO VASQUEZ CARRERA  
 TESIS CAPACIDAD DE SOPORTE AL ESTABILIZAR AL SUELO DE LA VIA CASCAJAL  
 CON CARBON Y CAL A NIVEL DE SUB RASANTE  
 MATERIAL C-1 SUB RASANTE PATRON  
 FECHA 23/08/2018

Metodo Compactación:	"A"	Número de Golpes		
Energía de Compactación Standar		27.7 Kg.cm / cm <sup>2</sup>		
01 - Peso Suelo Humedo + Molde (g)	3748	3800	3901	3917
02 - Peso del Molde (g)	1979.0	1979.0	1979.0	1979.0
03 - Peso Suelo Humedo (g)	1759.0	1821.0	1922.0	1938.0
04 - Volumen del Molde (cm <sup>3</sup> )	1062.0	1062.0	1062.0	1062.0
05 - Densidad Suelo Humedo (g/cm <sup>3</sup> )	1.666	1.715	1.810	1.825
06 - Tarro N°	01	02	03	04
07 - Peso suelo humedo + tarro (g)	455.8	509.5	349.7	590.8
08 - Peso suelo seco + tarro (g)	424.0	520.4	312.6	512.9
09 - Peso del agua (g)	31.8	49.1	37.1	77.9
10 - Peso del tarro (g)	69.5	85.0	63.0	64.3
11 - Peso suelo seco (g)	354.5	435.4	249.6	448.6
12 - Contenido de Humedad (%)	9.0	11.3	14.9	17.4
13 - Densidad del Suelo Seco (g/cm <sup>3</sup> )	1.528	1.541	1.575	1.554

Contenido Optimo Humedad 15.3 % Densidad Seca Maxima, 1.576 g/cm<sup>3</sup>





**RELACIÓN DE SOPORTE - CBR**

NORMA ASTM D- 1883

SOLICITA BACH, ALEXANDER MAURICIO VASQUEZ CABRERA  
 TESIS CAPACIDAD DE SOPORTE AL ESTABILIZAR AL SUELO DE LA VIA CASCAJAL  
 CON CARBON Y CAL A NIVEL DE SUB RASANTE  
 MATERIAL C-1 SUB RASANTE PATRON  
 FECHA 23/08/2018

Características						
Número de Molde	1		2		3	
Número de Capas	5		5		5	
Número de Golpe	56		25		12	
Energía Compactación [kg-cm/cm <sup>2</sup> ]	27.7		12.2		6.1	
Densidad Seca [CBR]						
01 - Peso suelo húmedo + molde (g)	8,448.0		8,208.0		7,704.0	
02 - Peso del molde (g)	4,432.0		4,577.0		4,572.0	
03 - Peso suelo húmedo (g)	4,016.0		3,629.0		3,132.0	
04 - Volumen de molde, cm <sup>3</sup>	2,210.000		2,141.000		2,012.000	
05 - Densidad suelo húmedo (g/cm <sup>3</sup> )	1.817		1.695		1.567	
06 - Tarro N°	0.0		0.0		0.0	
07 - Peso suelo húmedo + tarro (g)	368.0		270.0		608.7	
08 - Peso suelo seco + tarro (g)	317.4		234.1		527.7	
09 - Peso del agua (g)	48.6		35.9		81.0	
10 - Peso del tarro (g)	0.0		0.0		0.0	
11 - Peso suelo seco (g)	317.4		234.1		527.7	
12 - Contenido de humedad (%)	15.3		15.3		15.3	
13 - Densidad del suelo seco (g/cm <sup>3</sup> )	1.576		1.470		1.350	
Saturación						
Embebido	Fecha	Hora	Lec. Dial	Lec. Dial	Lec. Dial	
Día 01	17-Oct-16	5.00PM	0.04	0.05	0.07	
Día 02	18-Oct-16	5.00PM	0.05	0.06	0.09	
Día 03	19-Oct-16	5.00PM	0.06	0.08	0.13	
Día 04	20-Oct-16	5.00PM	0.08	0.10	0.13	
Expansión %			1.8	2.2	2.8	
Absorción						
Número de molde	1		2		3	
01 - Peso suelo húmedo antes (g)	4,016.0		3,629.0		3,132.0	
02 - Peso suelo embebido + molde (g)	8,528.1		8,272.1		7,761.0	
03 - Peso del molde (g)	4,432.0		4,577.0		4,572.0	
04 - Peso suelo embebido (g)	4,096.1		3,695.1		3,189.0	
05 - Peso del agua absorbida (g)	80.1		66.1		57.0	
06 - Peso del suelo seco (g)	3,482.7		3,148.5		2,715.2	
07 - Absorción de agua (%)	2.3		2.1		2.1	
Penetración						
Factor Anillo: Carga [kgf.] = Lectura Dial <sup>4</sup> 4.2491345 + 27.92018						
Molde	1 [56 Golpes]		2 [25 Golpes]		3 [12 Golpes]	
PEN. (mm)	Lec. Dial	Carga [Kgf.]	Lec. Dial	Carga [Kgf.]	Lec. Dial	Carga [Kgf.]
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.63	7.0	57.7	8.0	53.4	4.0	44.9
1.3	21.0	117.2	12.0	78.9	10.0	70.4
1.9	31.0	159.6	19.0	108.7	14.0	87.4
2.5	40.0	197.89	26.0	138.40	17.0	100.16
3.2	52.0	248.9	32.0	163.0	23.0	126.7
3.8	65.0	304.1	41.0	202.1	32.0	163.9
5.08	72.0	333.9	49.0	236.1	36.0	189.4
7.6	84.0	384.8	59.0	278.6	46.0	223.4
10.16	95.0	431.6	70.0	325.4	55.0	261.6
12.7	106.0	478.3	82.0	376.3	63.0	295.6
Carga [%]	197.89 kgf. [14.5%]		138.4 kgf. [10.2%]		100.16 kgf. [7.4%]	

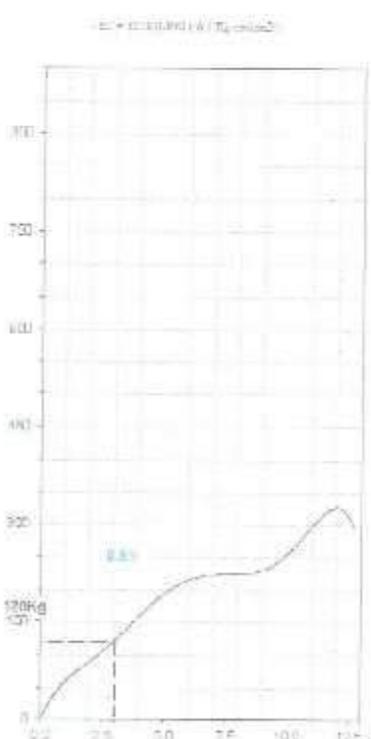
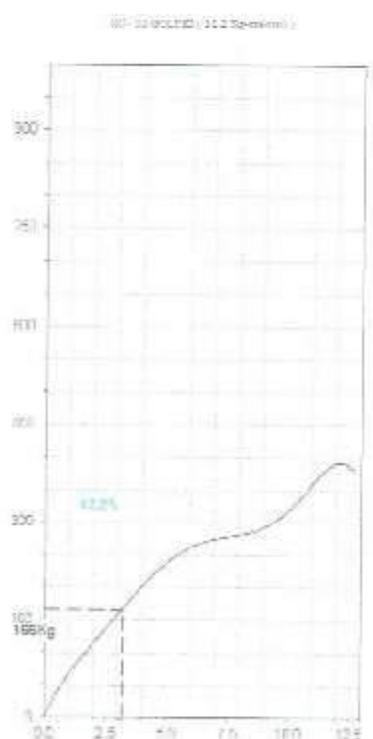
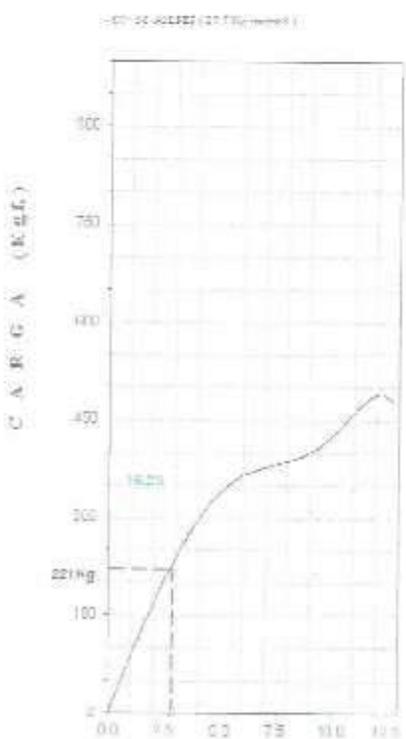
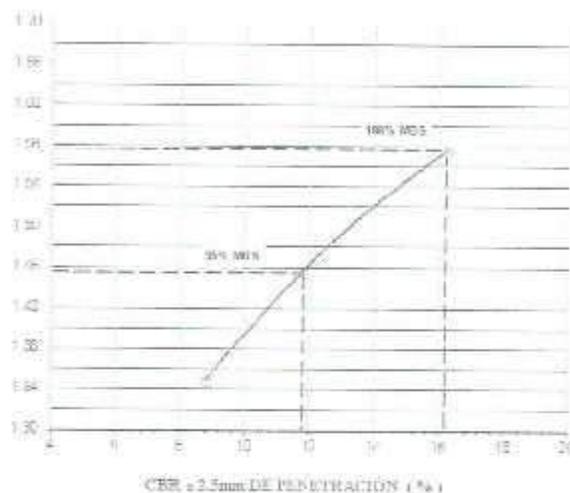
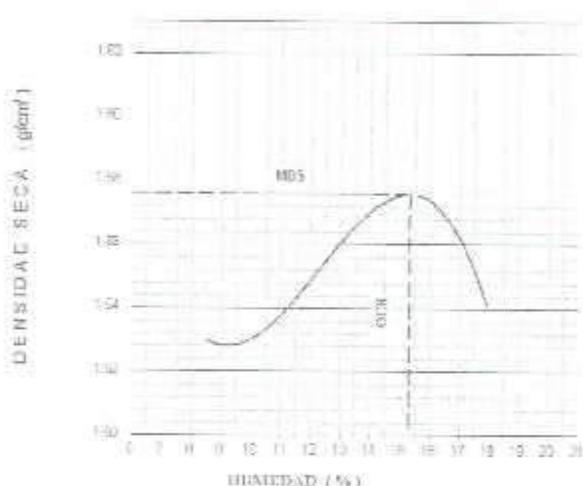




### RELACIÓN DE SOPORTE - CBR [ ASTM D-1883 ]

SOLICITA	ING. ALFONSO MALDONADO VILLALBA
USO	PROYECTO DE OBRAS DE RECONSTRUCCIÓN DEL SUELO DE LA
	VIA RUMBA A LOS CERROS CALA SIBLES DE PASANTE
MATERIAL	CLASE FACILE (A1) (B)
FECHA	23 Agosto 2011

METODO DE COMPACTACION	(ASTM 1400)	3
MAXIMA DENSIDAD SECA (g/cm <sup>3</sup> )		1.575
OPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD (%)		16.2
CBR AL 100% DE LA M.O.S. (%)		10.2
CBR AL 95% DE LA M.O.S. (%)		3.3
ABSORCION	2.3%	1.5%
	EXPANSION	17.2%
	HUMEDAD DE RESTRAGUA	



PENETRACION (mm)

UNIVERSIDAD SAN PEDRO  
FACULTAD DE INGENIERIA  
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y ENSAYO DE MATERIALES  
JEFATURA  
Ing. Jorge Montañez Reyes  
JEFE



## PROCTOR MODIFICADO

NORMA ASTM D- 1557/ MTC E 115

SOLICITA BACH. ALEXANDER MAURICIO VASQUEZ CABRERA  
 TESIS CAPACIDAD DE SOPORTE AL ESTABILIZAR AL SUELO DE LA VIA CASCAJAL  
 CON CARBON Y CAL A NIVEL DE SUB RASANTE  
 MATERIAL C-1 SUB RASANTE EXPERIMENTAL  
 FECHA 21/06/2018

Metodo Compactación:	"A"	Número de Golpes		56
Energía de Compactación Standar	27.7 Kg.cm / cm <sup>2</sup>			
01 - Peso Suelo Humedo + Molde (g)	3724	3852	3948	3912
02 - Peso del Molde (g)	1979.0	1979.0	1979.0	1979.0
03 - Peso Suelo Humedo (g)	1745.0	1873.0	1969.0	1933.0
04 - Volumen del Molde (cm <sup>3</sup> )	1062.0	1062.0	1062.0	1062.0
05 - Densidad Suelo Humedo (g/cm <sup>3</sup> )	1.643	1.764	1.854	1.820
06 - Tarro N°	01	02	03	04
07 - Peso suelo humedo + tarro (g)	374.0	420.0	376.0	444.0
08 - Peso suelo seco + tarro (g)	346.0	384.0	336.0	390.0
09 - Peso del agua (g)	28.0	36.0	40.0	54.0
10 - Peso del tarro (g)	69.5	85.0	63.0	64.3
11 - Peso suelo seco (g)	276.5	299.0	273.0	325.7
12 - Contenido de Humedad (%)	10.1	12.0	14.7	16.6
13 - Densidad del Suelo Seco (g/cm <sup>3</sup> )	1.492	1.575	1.616	1.561

Contenido Optimo Humedad: 14.3 % Densidad Seca Maxima, 1.618 g/cm<sup>3</sup>





**RELACIÓN DE SOPORTE - CBR  
NORMA ASTM D- 1883**

SOLICITA BACH. ALEXANDER MAURICIO VASQUEZ CABRERA  
TESIS CAPACIDAD DE SOPORTE AL ESTABILIZAR AL SUELO DE LA VIA CASCAJAL  
CON CARBON Y CAL A NIVEL DE SUB RASANTE  
MATERIAL C-1 SUB RASANTE EXPERIMENTAL  
FECHA 21/05/2018

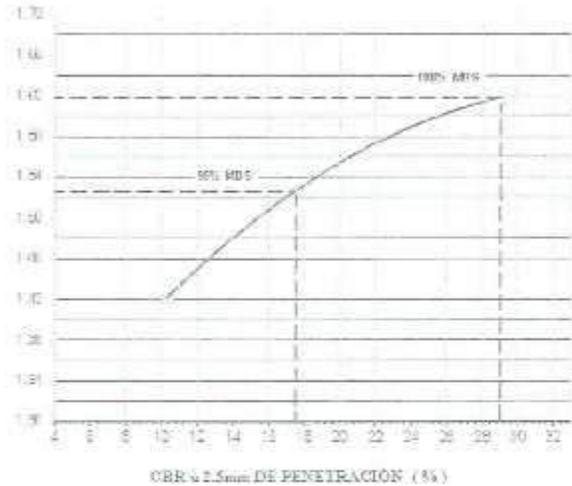
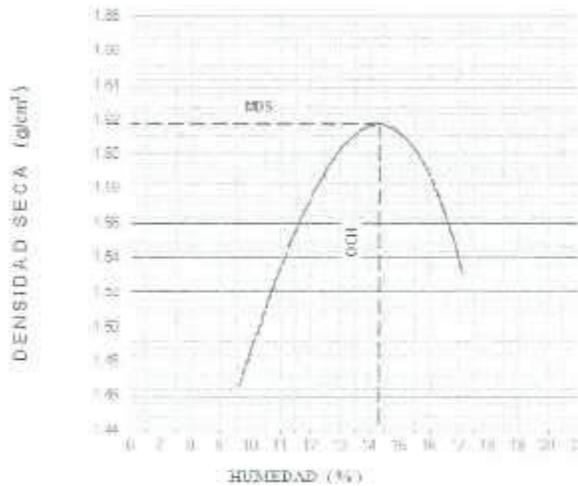
Características						
Número de Molde	1		2		3	
Número de Capas	5		5		5	
Número de Golpe	56		25		12	
Energía Compactación (kg-cm)/cm <sup>3</sup>	27.7		12.2		6.1	
Densidad Seca [CBR]						
01 - Peso suelo húmedo + molde (g)	8,519.0		8,316.0		7,844.0	
02 - Peso del molde (g)	4,432.0		4,577.0		4,572.0	
03 - Peso suelo húmedo (g)	4,087.0		3,739.0		3,272.0	
04 - Volumen de molde, cm <sup>3</sup>	2,210.000		2,141.000		2,012.000	
05 - Densidad suelo húmedo (g/cm <sup>3</sup> )	1.849		1.748		1.626	
06 - Tarro N°	0.0		0.0		0.0	
07 - Peso suelo húmedo + tarro (g)	489.0		389.0		433.0	
08 - Peso suelo seco + tarro (g)	427.8		339.4		378.7	
09 - Peso del agua (g)	61.2		49.6		54.3	
10 - Peso del tarro (g)	0.0		0.0		0.0	
11 - Peso suelo seco (g)	427.8		339.4		378.7	
12 - Contenido de humedad (%)	14.3		14.3		14.3	
13 - Densidad del suelo seco (g/cm <sup>3</sup> )	1.618		1.528		1.422	
Saturación						
Embebido	Fecha	Hora	Lec. Dial	Lec. Dial	Lec. Dial	Lec. Dial
Da 01	17-Oct-15	5:00PM	0.03	0.05	0.06	0.06
Da 02	19-Oct-15	5:00PM	0.06	0.08	0.09	0.09
Da 03	19-Oct-15	5:00PM	0.10	0.11	0.12	0.12
Da 04	20-Oct-15	5:00PM	0.12	0.15	0.16	0.16
Expansión, %			2.6	3.3	3.5	
Absorción						
Número de molde	1		2		3	
01 - Peso suelo húmedo antes (g)	4,087.0		3,739.0		3,272.0	
02 - Peso suelo embebido + molde (g)	8,687.0		8,492.6		8,015.7	
03 - Peso del molde (g)	4,432.0		4,577.0		4,572.0	
04 - Peso suelo embebido (g)	4,255.0		3,915.6		3,443.7	
05 - Peso del agua absorbida (g)	168.0		176.6		171.7	
06 - Peso del suelo seco (g)	3,575.5		3,270.7		2,861.7	
07 - Absorción de agua (%)	4.7		5.4		6.0	
Penetración						
Factor Anillo: Carga [kgf.] <sup>-1</sup> · Lectura Dial <sup>4</sup> : 4.2461349+27.92018						
Molde	1 [56 Golpes]		2 [25 Golpes]		3 [12 Golpes]	
PEN. (mm)	Lec. Dial	Carga [Kgf.]	Lec. Dial	Carga [Kgf.]	Lec. Dial	Carga [Kgf.]
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.83	6.0	53.4	6.0	53.4	6.0	49.2
1.3	24.0	129.6	16.0	95.9	9.0	66.2
1.9	48.0	223.4	25.0	134.1	15.0	91.7
2.5	83.0	380.60	38.0	189.39	22.0	121.40
3.2	105.0	474.1	51.0	244.6	30.0	155.4
3.9	130.0	560.3	66.0	308.4	39.0	193.6
6.08	159.0	703.5	79.0	383.6	52.0	248.9
7.6	189.0	873.5	103.0	465.6	68.0	316.9
10.16	234.0	1022.2	117.0	525.1	77.0	355.1
12.7	257.0	1119.6	130.0	580.3	85.0	431.6
Carga (%)	360.6 kgf. [28%]		189.39 kgf. [13.8%]		121.4 kgf. [8.9%]	





### RELACION DE SOPORTE - CBR [ ASTM D-1883 ]

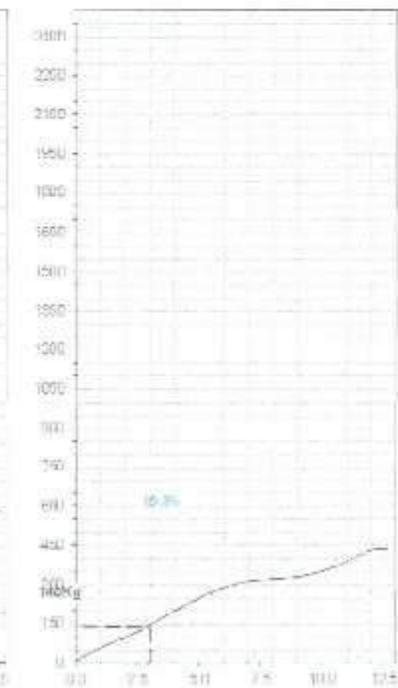
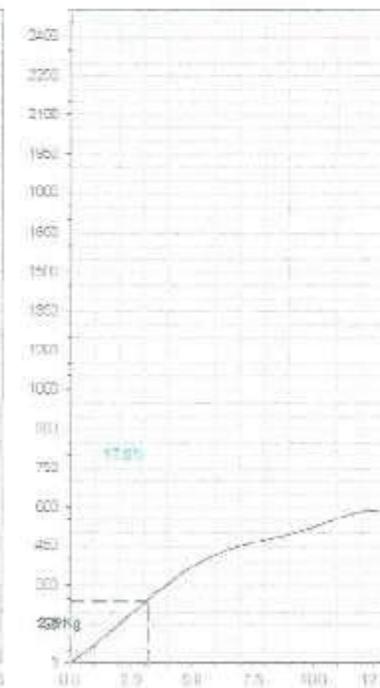
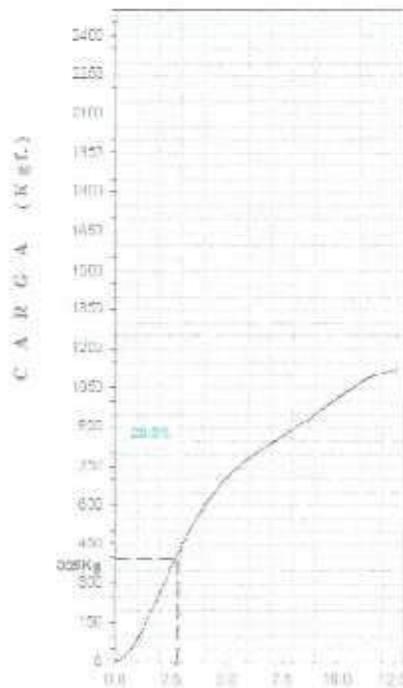
TIPO DE LA	SUELO DE PASADISE NUBRIDO CON AREY Y CEMENTO	METODO DE COMPACTACION (ASTM D 1557)	A
TESTE	CAPACIDAD DE SOPORTE AL ESTABILIDAD AL SUELO DE LA	MAXIMA DENSIDAD SECA (g/cm <sup>3</sup> )	1.518
	UNA CATEGORIA CON CEMENTO Y DAL A NIVEL DE SOBRESORTE	OPTIMO CONTEUDO DE HUMEDAD (%)	14.3
		CDR AL 100% DE LA M.D.C. (%)	19.0
MATERIAL	CON SUBPASES EXPERIMENTAL	CDR AL 95% DE LA M.D.C. (%)	17.5
	FECHA: 23 Apr 2010	HUMEDAD 4.0%   EXTENSION	25.5%
		ABSORCION 47.1%	HUMEDAD DE PENETRACION 19.0%



-CD = 2000PE (211 kg/cm<sup>2</sup>)

-CD = 1500PE (152 kg/cm<sup>2</sup>)

-CD = 1000PE (101 kg/cm<sup>2</sup>)



PENETRACION (mm)



UNIVERSIDAD SAN PEDRO  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL  
Laboratorio de Mecanica de Suelos y Ensayo de Materiales  
Ing. Jorge Mantanez Reyes  
JEFE



### ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO (ASTM D422)

SOLICITA: RACH, ALEXANDER MAURICIO VASQUEZ CARRERA  
 PROYECTO: CAPACIDAD DE SOBRECARGA AL ESTARÉ (ARAL SUELO DE LA VÍA CASTAÑA - CON CARSON Y CA. ANHÍLO DE SUB RASANTE)  
 MATERIAL: C-2 SUELO RASANTE  
 FECHA: 25/04/2019

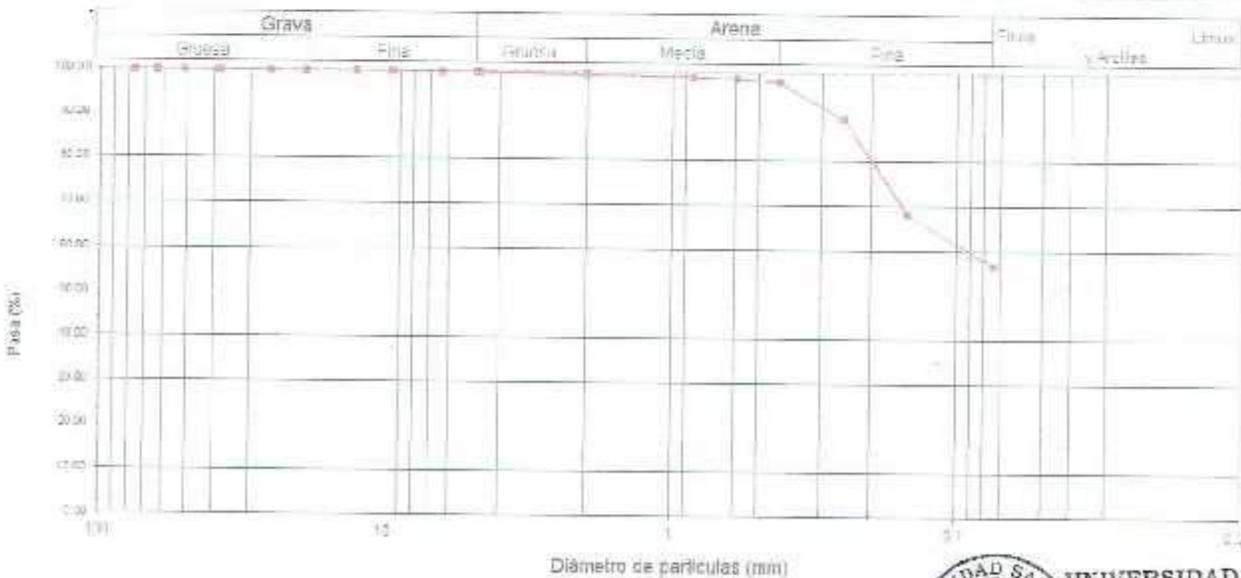
Peso Seco inicial	700	gr.
Peso Seco Lavado	399.8	gr.
Peso perdido por lavado	399.2	gr.

CALICATA	: C-2
ESTRATO	: M-1
PROF. (m)	: 0.00 a 1.50

Tamiz (Abertura)		Peso Retenido (gr.)	Retenido Parcial (%)	Retenido Acumulado (%)	Pasante (%)	Clasificación AASHTO
N°	(mm)					
2 1/2"	76.20	0.0	0.0	0.0	100.0	Materia limosa arenosa Pobre a malo como esgrudo 7-5-5 (S.U.C.S.)
2"	50.80	0.0	0.0	0.0	100.0	
1 1/2"	37.50	0.0	0.0	0.0	100.0	
1"	25.40	0.0	0.0	0.0	100.0	
3/4"	19.00	0.0	0.0	0.0	100.0	valor del índice de grupo (IG)
1/2"	12.50	0.0	0.0	0.0	100.0	Clasificación (S.U.C.S.)
3/8"	9.50	0.0	0.0	0.0	100.0	Suelo de partículas finas
1/4"	6.30	0.0	0.0	0.0	100.0	Limite de plasticidad (LL) > 25
N° 4	4.75	0.0	0.1	0.1	99.9	Pasa tamiz N° 4 (%) : 99.9
N° 10	2.00	2.1	0.3	0.4	99.6	Pasa tamiz N° 10 (%) : 99.6
N° 20	0.850	3.8	0.5	0.9	99.1	Pasa tamiz N° 20 (%) : 99.1
N° 30	0.600	2.2	0.3	1.2	98.8	D60 (mm) : 0.10
N° 40	0.425	4.8	0.7	1.9	98.1	D30 (mm) :
N° 60	0.250	59.0	8.4	10.2	89.6	D10 (mm) :
N° 100	0.150	149.0	21.3	31.6	68.4	Cu
N° 200	0.075	70.3	11.3	43.0	57.0	Cc
< 200		399.2	57.0	100.0	0.0	
Total		700.0			100.0	

Limite líquido LL	0
Limite plástico LP	0
Índice plasticidad IP	0

### CURVA GRANULOMÉTRICA



UNIVERSIDAD SAN PEDRO  
 FACULTAD DE INGENIERÍA  
 Laboratorio de Mecánica de Suelos y Ensayo de Materiales  
 Ing. Jorge Montañez Reyes  
 JEFE



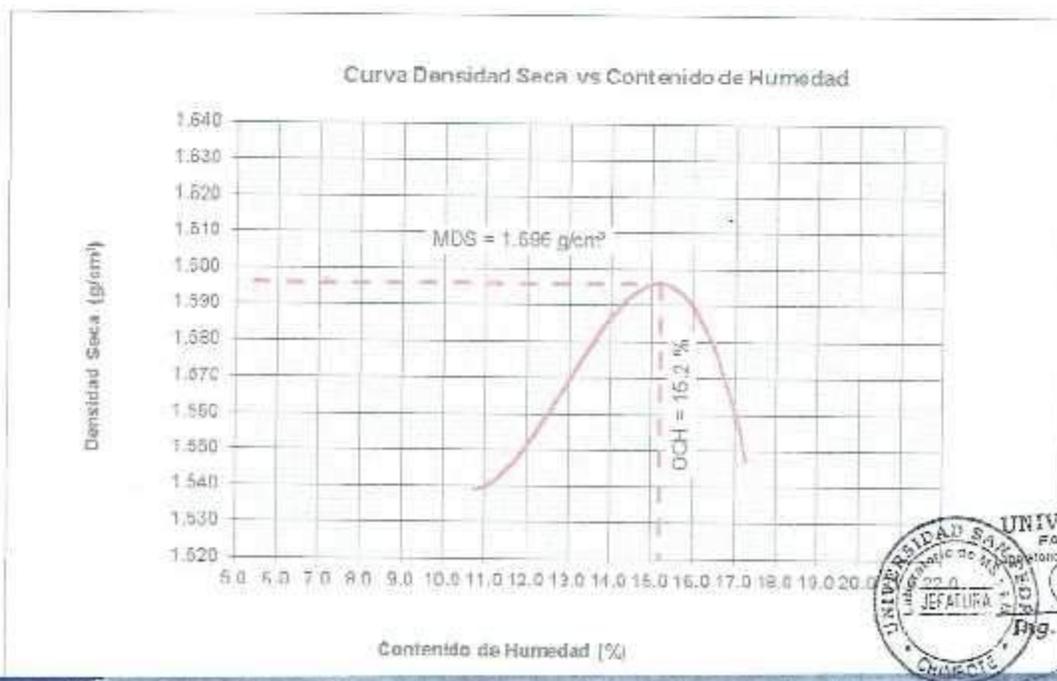
**PROCTOR MODIFICADO**

NORMA ASTM D- 1557/ MTC E 115

SOLICITA BACH. ALEXANDER MAURICIO VASQUEZ CABRERA  
 TESIS CAPACIDAD DE SOPORTE AL ESTABILIZAR AL SUELO DE LA VIA CASCAJAL  
 CON CARBON Y CAL A NIVEL DE SUB RASANTE  
 MATERIAL C-2 SUB RASANTE PATRON  
 FECHA 23/08/2018

Metodo Compactación:	"A"	Número de Golpes		56
Energía de Compactación Standar	27.7 Kg. cm / cm <sup>2</sup>			
01 - Peso Suelo Humedo + Molde (g)	3788	3866	3930	3906
02 - Peso del Molde (g)	1979.0	1979.0	1979.0	1979.0
03 - Peso Suelo Humedo (g)	1809.0	1887.0	1951.0	1927.0
04 - Volumen del Molde (cm <sup>3</sup> )	1062.0	1062.0	1062.0	1062.0
05 - Densidad Suelo Humedo (g/cm <sup>3</sup> )	1.703	1.777	1.837	1.816
06 - Tarro N°	01	02	03	04
07 - Peso suelo humedo + tarro (g)	318.0	326.0	352.0	308.0
08 - Peso suelo seco + tarro (g)	294.0	298.0	314.0	272.0
09 - Peso del agua (g)	24.0	28.0	38.0	36.0
10 - Peso del tarro (g)	69.5	85.0	63.0	64.3
11 - Peso suelo seco (g)	224.5	213.0	251.0	207.7
12 - Contenido de Humedad (%)	10.7	13.1	15.1	17.3
13 - Densidad del Suelo Seco (g/cm <sup>3</sup> )	1.539	1.571	1.596	1.547

Contenido Optimo Humedad 15.2 % Densidad Seca Maxima 1.596 g/cm<sup>3</sup>




**UNIVERSIDAD SAN PEDRO**  
 FACULTAD DE INGENIERÍA  
 Laboratorio de Mecánica de Suelos y Ensayo de Materiales  
*Jorge Montañez Reyes*  
**Ing. Jorge Montañez Reyes**  
 JEFE



**RELACIÓN DE SOPORTE - CBR  
NORMA ASTM D- 1883**

SOLICITA BACH. ALEXANDER MAURICIO VÁSQUEZ CABRERA  
 TESIS CAPACIDAD DE SOPORTE AL ESTABILIZAR AL SUELO DE LA VÍA CASCAJAL  
 CON CARBÓN Y CAL A NIVEL DE SUB RASANTE  
 MATERIAL C-2 SUB RASANTE PATRON  
 FECHA 23/08/2018

Características						
Numero de Molde	1		2		3	
Numero de Capas	5		5		5	
Numero de Golpe	55		25		12	
Energía Compactación [kg-cm/cm <sup>2</sup> ]	27.7		12.2		6.1	
Densidad Seca [CBR]						
01 - Peso suelo humedo + molde (g)	9,496.0		8,266.0		7,808.0	
02 - Peso del molde (g)	4,432.0		4,577.0		4,572.0	
03 - Peso suelo humedo (g)	4,064.0		3,689.0		3,236.0	
04 - Volumen de molde, cm <sup>3</sup>	2,210.000		2,141.000		2,012.000	
05 - Densidad suelo humedo (g/cm <sup>3</sup> )	1.830		1.723		1.800	
06 - Tarro N°	0.0		0.0		0.0	
07 - Peso suelo humedo - tarro (g)	526.0		366.0		400.0	
08 - Peso suelo seco + tarro (g)	493.2		331.0		369.4	
09 - Peso del agua (g)	42.8		25.0		30.6	
10 - Peso del tarro (g)	202.2		166.5		167.5	
11 - Peso suelo seco (g)	281.0		164.5		201.9	
12 - Contenido de humedad (%)	15.2		15.2		15.2	
13 - Densidad del suelo seco (g/cm <sup>3</sup> )	1.596		1.496		1.397	
Saturación						
Embebido	Fecha	Hora	Lec. Dial	Lec. Dial	Lec. Dial	
Día 01	17-Oct-16	5.00PM	0.05	0.04	0.05	
Día 02	18-Oct-16	5.00PM	0.06	0.06	0.07	
Día 03	19-Oct-16	5.00PM	0.07	0.08	0.09	
Día 04	20-Oct-16	5.00PM	0.09	0.12	0.14	
Expansion, %			2.0	2.6	3.1	
Absorción						
Numero de molde	1		2		3	
01 - Peso suelo humedo antes (g)	4,064.0		3,889.0		3,236.0	
02 - Peso suelo embebido + molde (g)	8,594.8		6,422.9		7,948.5	
03 - Peso del molde (g)	4,432.0		4,577.0		4,572.0	
04 - Peso suelo embebido (g)	4,162.8		3,845.9		3,376.5	
05 - Peso del agua absorbida (g)	98.8		156.9		140.5	
06 - Peso del suelo seco (g)	3,526.8		3,202.3		2,810.1	
07 - Absorción de agua (%)	2.8		4.9		5.0	
Penetración						
Factor Anillo: Carga [kgf.] = Lectura Dial * 4.24913 / 5 + 27.92018						
Molde	1 [55 Golpes]		2 [25 Golpes]		3 [12 Golpes]	
PEN. (mm)	Lec. Dial	Carga [Kgf.]	Lec. Dial	Carga [Kgf.]	Lec. Dial	Carga [Kgf.]
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.63	11.0	74.7	9.0	66.2	6.0	53.4
1.3	19.0	108.7	15.0	91.7	9.0	66.2
1.9	29.0	151.1	21.0	117.2	14.0	87.4
2.5	39.0	193.64	28.0	146.90	18.0	104.40
3.2	50.0	240.4	31.0	159.6	22.0	121.4
3.8	61.0	287.1	39.0	193.6	27.0	142.8
5.08	73.0	336.1	47.0	227.6	32.0	163.9
7.8	85.0	389.1	55.0	261.6	37.0	185.1
10.16	99.0	444.3	64.0	299.9	42.0	206.4
12.7	112.0	503.8	76.0	350.9	48.0	231.9
Carga [%]	193.64 kgf. [14.2%]		146.9 kgf. [10.8%]		104.4 kgf. [7.7%]	







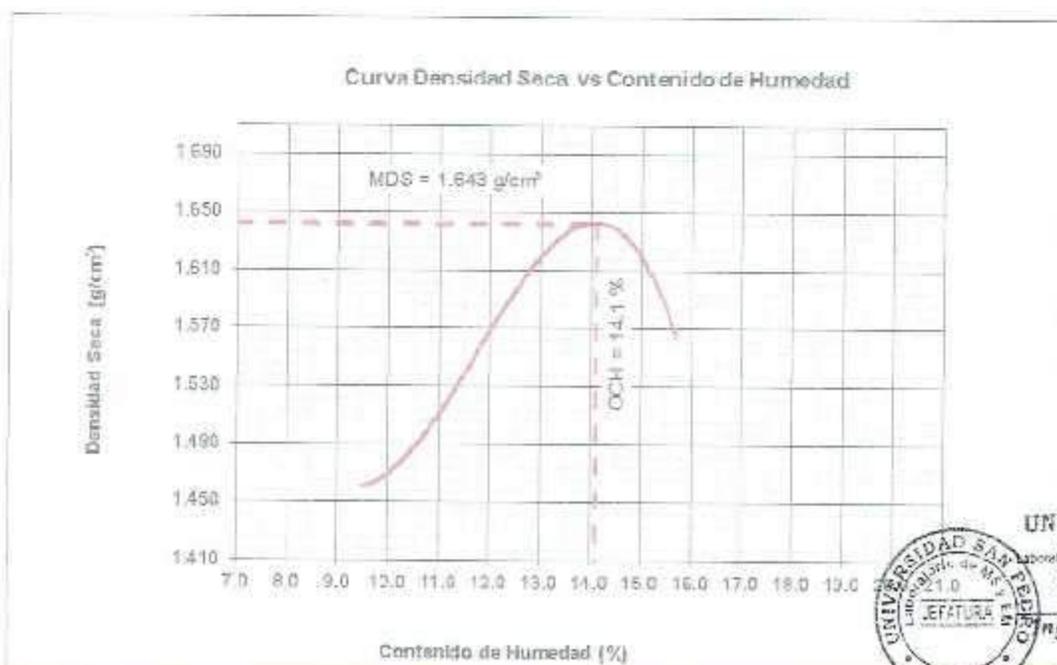
### PROCTOR MODIFICADO

NORMA ASTM D- 1557/ MTC E 115

SOLICITA BACH. ALEXANDER MAURICIO VASQUEZ CABRERA  
 TESIS CAPACIDAD DE SOPORTE AL ESTABILIZAR AL SUELO DE LA VIA CASCAJAL  
 CON CARBON Y CAL A NIVEL DE SUB RASANTE  
 MATERIAL C-2 SUB RASANTE EXPERIMENTAL  
 FECHA 23/08/2018

Metodo Compactación:	"A"	Número de Golpes		56
Energía de Compactación Standar	27.7 Kg.cm / cm <sup>2</sup>			
01 - Peso Suelo Humedo + Molde (g)	3678	3810	3935	3902
02 - Peso del Molde (g)	1979.0	1979.0	1979.0	1979.0
03 - Peso Suelo Humedo (g)	1699.0	1831.0	1956.0	1923.0
04 - Volumen del Molde (cm <sup>3</sup> )	1062.0	1062.0	1062.0	1062.0
05 - Densidad Suelo Humedo (g/cm <sup>3</sup> )	1.600	1.724	1.842	1.811
06 - Tarro N°	01	02	03	04
07 - Peso suelo humedo + tarro (g)	428.0	268.0	354.0	454.0
08 - Peso suelo seco + tarro (g)	397.0	249.0	320.0	401.0
09 - Peso del agua (g)	31.0	19.0	34.0	53.0
10 - Peso del tarro (g)	69.5	85.0	63.0	64.3
11 - Peso suelo seco (g)	327.5	164.0	257.0	336.7
12 - Contenido de Humedad (%)	9.5	11.6	13.2	15.7
13 - Densidad del Suelo Seco (g/cm <sup>3</sup> )	1.461	1.545	1.627	1.565

Contenido Optimo Humedad 14.1 % Densidad Seca Maxima, 1.643 g/cm<sup>3</sup>



UNIVERSIDAD SAN PEDRO  
 FACULTAD DE INGENIERIA  
 Laboratorio de Mecánica de Suelos y Ensayo de Materiales  
 Ing. Jorge Montañez Reyes  
 JEFE



### RELACIÓN DE SOPORTE - CBR

NORMA ASTM D- 1883

SOLICITA BACH. ALEXANDER MAURICIO VÁSQUEZ CABRERA  
 TESIS: CAPACIDAD DE SOPORTE AL ESTABILIZAR AL SUELO DE LA VIA CASCAJAL  
 CON CARBÓN Y CAL A NIVEL DE SUB RASANTE  
 MATERIAL C-2 SUB RASANTE EXPERIMENTAL  
 FECHA 23/08/2018

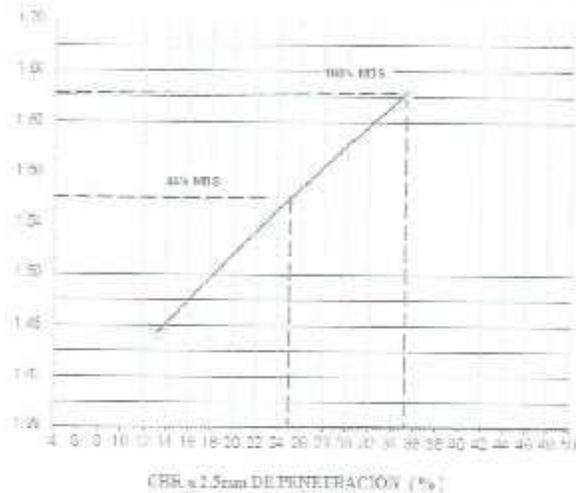
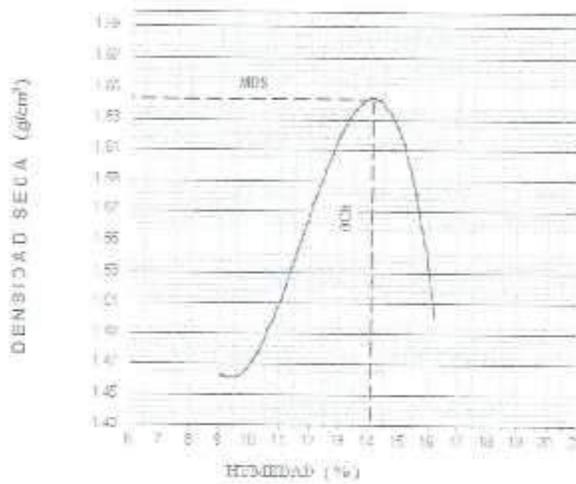
Características						
Numero de Molde	1		2		3	
Numero de Capas	5		5		5	
Numero de Golpes	56		25		12	
Energía Compactación [kg-cm <sup>3</sup> /cm <sup>3</sup> ]	27.7		12.2		6.1	
Densidad Seca [CBR]						
01 - Peso suelo humedo + molde (g)	8,577.0		8,340.0		7,910.0	
02 - Peso del molde (g)	4,432.0		4,577.0		4,572.0	
03 - Peso suelo humedo (g)	4,145.0		3,783.0		3,338.0	
04 - Volumen de molde, cm <sup>3</sup>	2,210.000		2,141.000		2,012.000	
05 - Densidad suelo humedo (g/cm <sup>3</sup> )	1.876		1.750		1.659	
06 - Tarro, N°	0.0		0.0		0.0	
07 - Peso suelo humedo + tarro (g)	535.0		456.5		581.0	
08 - Peso suelo seco + tarro (g)	488.2		420.7		534.9	
09 - Peso del agua (g)	46.8		35.8		46.1	
10 - Peso del tarro (g)	157.0		166.5		207.5	
11 - Peso suelo seco (g)	331.2		254.2		327.4	
12 - Contenido de humedad (%)	14.1		14.1		14.1	
13 - Densidad del suelo seco (g/cm <sup>3</sup> )	1.643		1.541		1.454	
Saturación						
Embebido	Fecha	Hora	Lec. Dial	Lec. Dial	Lec. Dial	
Dia 01	17-Oct-16	5.00PM	0.04	0.05	0.03	
Dia 02	18-Oct-16	5.00PM	0.05	0.06	0.04	
Dia 03	19-Oct-16	5.00PM	0.06	0.08	0.11	
Dia 04	20-Oct-16	5.00PM	0.09	0.12	0.15	
Expansión, %			2.0	2.6	3.3	
Absorción						
Numero de molde	1		2		3	
01 - Peso suelo humedo antes (g)	4,145.0		3,763.0		3,338.0	
02 - Peso suelo embebido + molde (g)	8,649.6		8,422.5		7,987.8	
03 - Peso del molde (g)	4,432.0		4,577.0		4,572.0	
04 - Peso suelo embebido (g)	4,217.6		3,845.5		3,425.8	
05 - Peso del agua absorbida (g)	72.6		62.5		67.8	
06 - Peso del suelo seco (g)	3,631.8		3,298.5		2,926.0	
07 - Absorción de agua (%)	2.0		2.5		3.0	
Penetración						
Factor Anillo: Carga [kgf.] = Lectura Dial * 4.2401346 + 27.02018						
Molde	1 [56 Golpes]		2 [25 Golpes]		3 [12 Golpes]	
PEN. (mm)	Lec. Dial	Carga [Kgf.]	Lec. Dial	Carga [Kgf.]	Lec. Dial	Carga [Kgf.]
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.63	9.0	68.2	7.0	57.7	5.0	49.2
1.3	25.0	134.1	16.0	95.9	10.0	70.4
1.9	57.0	270.1	32.0	163.9	16.0	95.9
2.5	94.0	427.34	42.0	206.38	27.0	142.65
3.2	138.0	614.3	63.0	295.6	40.0	197.9
3.8	158.0	690.6	100.0	452.8	58.0	274.4
5.08	215.0	941.5	132.0	588.8	78.0	359.4
7.6	278.0	1209.2	208.0	911.7	126.0	563.3
10.16	329.0	1425.9	259.0	1128.4	157.0	695.0
12.7	382.0	1651.1	312.0	1353.7	162.0	801.3
Carga (%)	427.34 kgf. [31.4%]		206.38 kgf. [15.2%]		142.65 kgf. [10.5%]	





### RELACIÓN DE SOPORTE - CBR [ASTM D-1883]

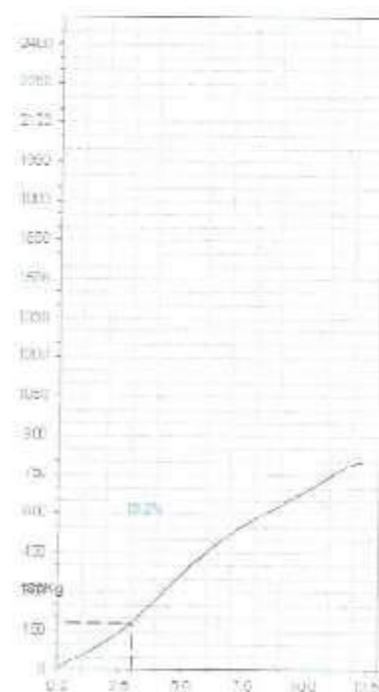
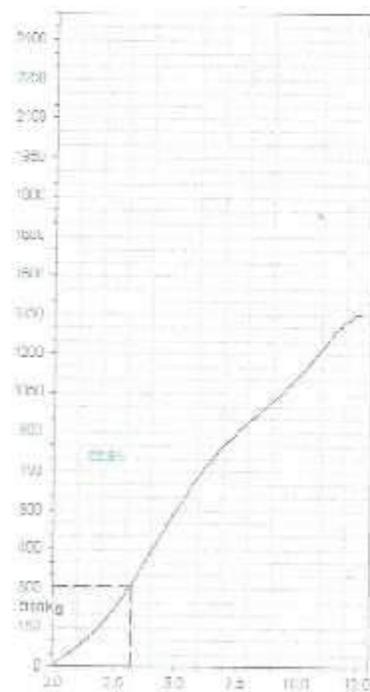
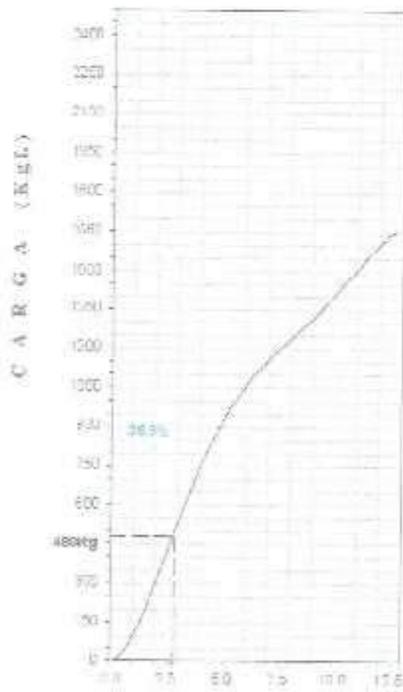
SOLICITA	ESTUDIO DIAGNÓSTICO VIAL Y CARRETERA	MÉTODO DE COMPACTACIÓN	ASTM D 1557	A	
TIPO	GRANÍFICO DE SOPORTE AL ESTABILIZADO SUELO DE LA VIAL CARRETERA CON CARBÓN Y UN 5% MÁS DE SUBGRANÍFICO	MAXIMA DENSIDAD SECA (g/cm <sup>3</sup> )		1.642	
MATERIAL	GRANÍFICO PASADO EN PANTALLA	ÓPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD (%)		14.1	
		CBR AL 100% DE LA M.D.S. (%)		30.0	
		CBR AL 95% DE LA M.D.S. (%)		35.0	
		EVOLUCIÓN	4.2%   10.4%   20.5%	30.5%	
	FECHA: 28-Ago-2010	MOISTURE	2.1%	HUMEDAD DE PENETRACIÓN	15.1%



-20 = 2000 (kg/cm<sup>2</sup>)

-80 = 8000 (kg/cm<sup>2</sup>)

-40 = 4000 (kg/cm<sup>2</sup>)



PENETRACIÓN (mm)



UNIVERSIDAD SAN PEDRO  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
Laboratorio de Mecánica de Suelos y Ensayo de Materiales  
Ing. Jorge Montañez Reyes  
JEFE



### ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO (ASTM D422)

SOLICITA: EPOCH ALVARO MAURICIO VASQUEZ CABREJA  
 PROYECTO: CAPACIDAD DE SOPORTE AL ESTABLECIMIENTO DE OBRAS EN CASCAJAL CON CARBÓN Y CAL A NIVEL DE SUR PASANTE  
 MATERIAL: C-3 SUB PASANTE  
 FECHA: 29/09/2018

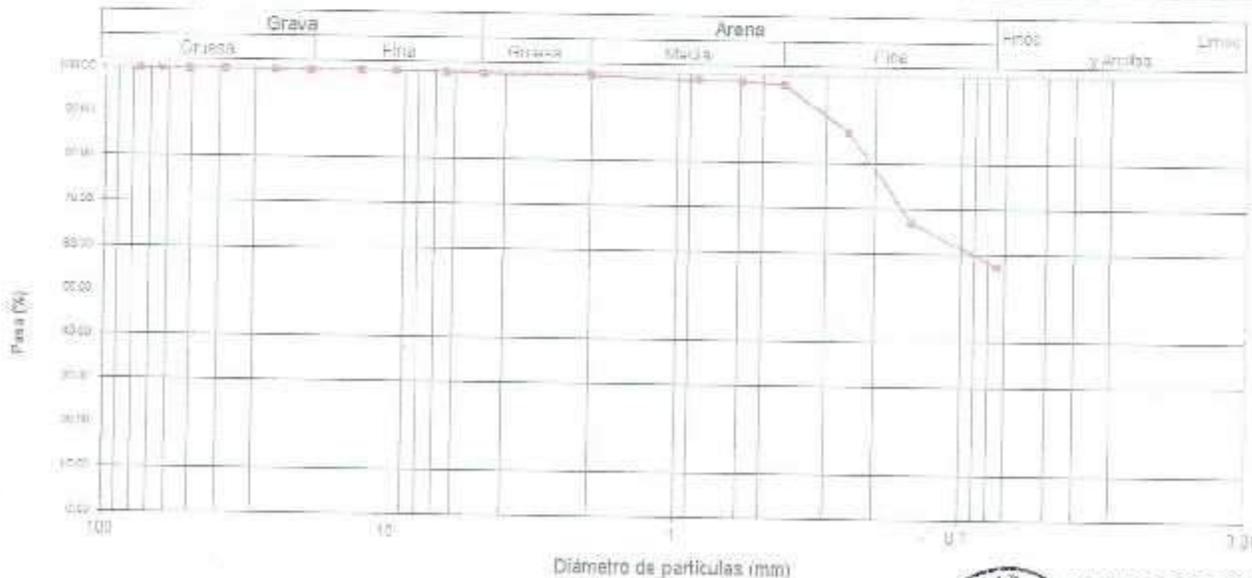
Peso Sám Inicial	620	gr.
Peso Secco Lavado	264.2	gr.
Peso perdido por lavado	355.8	gr.

CALICATA	C-3
ESTRATO	m-1
PROF. (m)	0.00 a 1.50

Tamiz(Apertura)	N°	(mm)	Peso Retenido (gr)	Retenido Parcial (%)	Retenido Acumulado (%)	Pasante (%)	Clasificación AASHTO
2 1/2"		76.20	0.0	0.0	0.0	100.0	Material (Ineso-Apoco) Fines a más como subgrado A-1-C Sublimoso
2"		50.80	0.0	0.0	0.0	100.0	
1 1/2"		37.50	0.0	0.0	0.0	100.0	
1"		25.00	0.0	0.0	0.0	100.0	
3/4"		19.00	0.0	0.0	0.0	100.0	Clasificación (S.U.C.S.)
1/2"		12.50	0.0	0.0	0.0	100.0	
3/8"		9.50	0.0	0.0	0.0	100.0	Suma de partículas finas Límite de plasticidad (LL)
1/4"		6.30	0.0	0.0	0.0	100.0	
N° 4		4.75	1.0	0.2	0.2	99.8	Pasa tamiz N° 4 (%) : 99.8
N° 10		2.00	1.5	0.2	0.4	99.6	Pasa tamiz N° 200 (%) : 57.4
N° 20		0.850	3.5	0.6	1.0	99.0	D60 (mm) : 0.10
N° 30		0.600	2.2	0.4	1.3	98.7	D30 (mm) :
N° 40		0.425	5.0	0.8	2.1	97.9	D10 (mm) :
N° 60		0.250	85.0	10.5	12.6	87.4	Cu
N° 100		0.150	126.0	20.3	32.8	67.1	Cc
N° 200		0.075	60.0	9.7	42.6	57.4	
< 200			355.8	57.4	100.0	0.0	
Total			620.0			100.0	

Límite líquido LL	0
Límite plástico LP	0
Índice plasticidad IP	0

### CURVA GRANULOMÉTRICA



UNIVERSIDAD SAN PEDRO  
 FACULTAD DE INGENIERÍA  
 Laboratorio de Mecánica de Suelos y Ensayo de Materiales  
 In. Jorge Montañez Reyes  
 JEFE



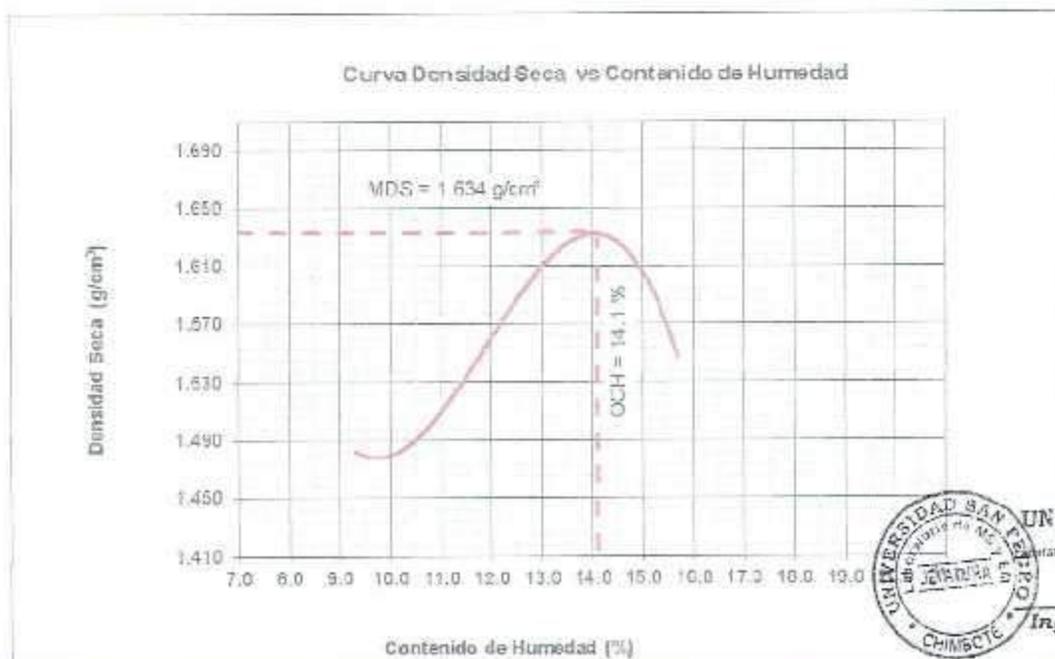
## PROCTOR MODIFICADO

NORMA ASTM D-1557/ MTC E 115

SOLICITA BACH, ALEXANDER MAURICIO VASQUEZ CABRERA  
 TESIS CAPACIDAD DE SOPORTE AL ESTABILIZAR AL SUELO DE LA VIA CASCAJAL  
 CON CARBON Y CAL A NIVEL DE SUB RASANTE  
 MATERIAL C-3 SUB RASANTE PATRON  
 FECHA 23/08/2018

Metodo Compactación:	"A"	Número de Gopes		56
Energía de Compactación Standar	27.7 Kg.cm / cm <sup>2</sup>			
01 - Peso Suelo Humedo + Molde (g)	3700	3812	3923	3880
02 - Peso del Molde (g)	1979.0	1979.0	1979.0	1979.0
03 - Peso Suelo Humedo (g)	1721.0	1833.0	1944.0	1901.0
04 - Volumen del Molde (cm <sup>3</sup> )	1062.0	1062.0	1062.0	1062.0
05 - Densidad Suelo Humedo (g/cm <sup>3</sup> )	1.621	1.726	1.831	1.790
06 - Tarro N°	01	02	03	04
07 - Peso suelo humedo + tarro (g)	400.0	380.0	354.0	454.0
08 - Peso suelo seco + tarro (g)	372.0	349.0	320.0	401.0
09 - Peso del agua (g)	28.0	31.0	34.0	53.0
10 - Peso del tarro (g)	69.5	85.0	63.0	64.3
11 - Peso suelo seco (g)	302.5	264.0	257.0	336.7
12 - Contenido de Humedad (%)	9.3	11.7	13.2	15.7
13 - Densidad del Suelo Seco (g/cm <sup>3</sup> )	1.483	1.545	1.617	1.547

Contenido Optimo Humedad **14.1 %** Densidad Seca Maxima, **1.634 g/cm<sup>3</sup>**





### RELACIÓN DE SOPORTE - CBR

NORMA ASTM D- 1883

SOLICITA BACH. ALEXÁNDER MAURICIO VÁSQUEZ CABRERA  
 TESIS CAPACIDAD DE SOPORTE AL ESTABILIZAR AL SUELO DE LA VÍA CASCAJAL  
 CON CARBÓN Y CAL A NIVEL DE SUB RASANTE  
 MATERIAL C-3 SUB RASANTE PATRON  
 FECHA 23/08/2018

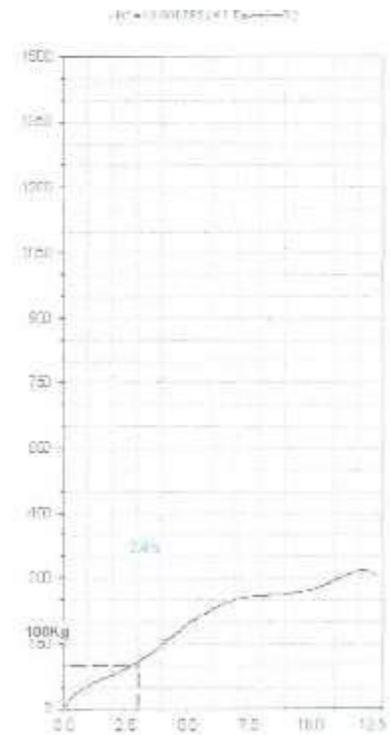
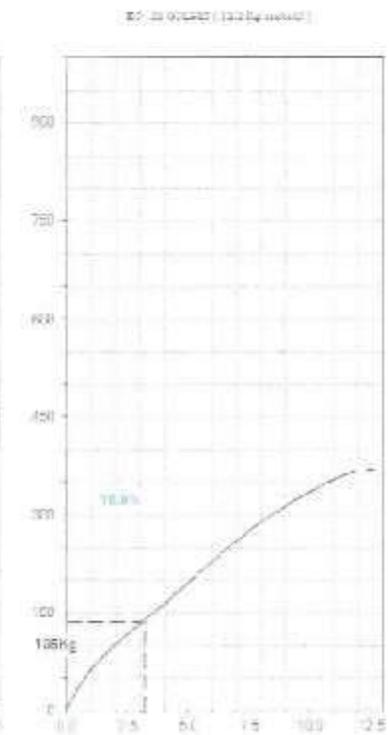
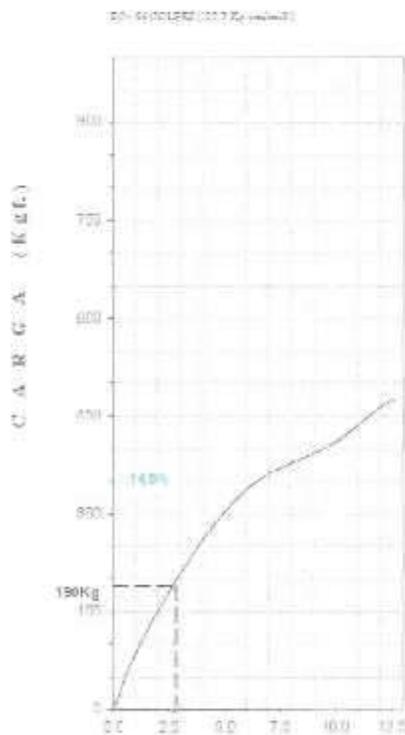
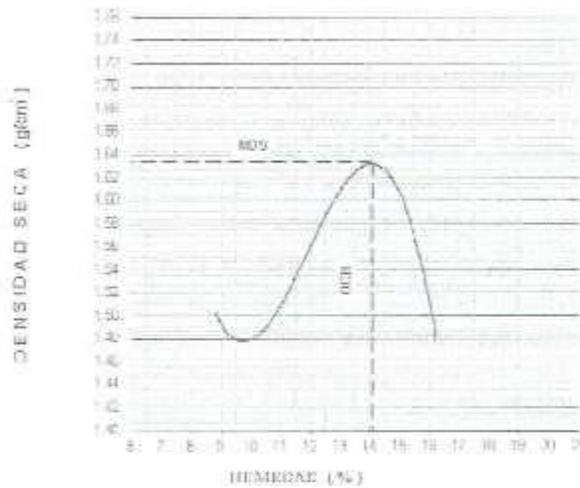
Características						
Numero de Molde	1		2		3	
Numero de Capas	5		5		5	
Numero de Golpe	56		25		12	
Energía Compactación [kg-cm]/cm <sup>3</sup>	27.7		12.2		6.1	
<b>Densidad Seca [CBR]</b>						
01 - Peso suelo humedo + molde (g)	8 563.0		8 360.0		7 680.0	
02 - Peso del molde (g)	4 432.0		4 577.0		4 572.0	
03 - Peso suelo humedo (g)	4 119.0		3 783.0		3 308.0	
04 - Volumen de molde, cm <sup>3</sup>	2 210.000		2 141.000		2 012.000	
05 - Densidad suelo humedo (g/cm <sup>3</sup> )	1.863		1.767		1.644	
06 - Tarro, N°	0.0		0.0		0.0	
07 - Peso suelo humedo + tarro (g)	404.0		398.3		408.0	
08 - Peso suelo seco + tarro (g)	354.2		349.0		367.6	
09 - Peso del agua (g)	49.8		49.3		50.5	
10 - Peso del tarro (g)	0.0		0.0		0.0	
11 - Peso suelo seco (g)	354.2		349.0		367.6	
12 - Contenido de humedad (%)	14.1		14.1		14.1	
13 - Densidad del suelo seco (g/cm <sup>3</sup> )	1.834		1.548		1.441	
<b>Saturación</b>						
Embebido	Fecha	Hora	Lec. Dial	Lec. Dial	Lec. Dial	Lec. Dial
Dia 01	17-Oct-16	5.00PM	0.03	0.04	0.04	0.04
Dia 02	18-Oct-16	5.00PM	0.06	0.07	0.08	0.08
Dia 03	19-Oct-16	5.00PM	0.08	0.09	0.13	0.13
Dia 04	20-Oct-16	5.00PM	0.11	0.13	0.16	0.16
Expansión, %			2.4	2.8	3.5	3.5
<b>Absorción</b>						
Numero de molde	1		2		3	
01 - Peso suelo humedo antes (g)	4 119.0		3 783.0		3 308.0	
02 - Peso suelo embebido + molde (g)	8 719.7		8 568.8		8 077.1	
03 - Peso del molde (g)	4 432.0		4 577.0		4 572.0	
04 - Peso suelo embebido (g)	4 287.7		3 991.8		3 505.1	
05 - Peso del agua absorbida (g)	169.7		208.8		197.1	
06 - Peso del suelo seco (g)	3 610.4		3 314.8		2 898.6	
07 - Absorción de agua (%)	4.7		6.3		6.9	
<b>Penetración</b>						
Factor Anillo; Carga [kgf.] = Lectura Dial * 4.24E1345 + 27.82018						
Molde	1 [56 Golpes]		2 [25 Golpes]		3 [12 Golpes]	
PEN. (mm)	Lec. Dial	Carga [Kgf.]	Lec. Dial	Carga [Kgf.]	Lec. Dial	Carga [Kgf.]
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.63	8.0	53.4	6.0	53.4	4.0	44.9
1.3	19.0	108.7	10.0	70.4	8.0	81.9
1.9	28.0	146.9	16.0	95.9	11.0	74.7
2.6	35.0	176.64	20.0	112.90	14.0	87.41
3.2	46.0	223.4	28.0	146.9	20.0	112.9
3.8	51.0	244.6	31.0	159.6	29.0	151.1
5.08	88.0	308.4	39.0	193.6	38.0	189.4
7.6	81.0	372.1	58.0	278.6	56.0	257.4
10.16	91.0	414.6	73.0	338.1	58.0	274.4
12.7	105.0	474.1	80.0	367.9	65.0	304.1
Carga [%]	176.64 kgf. [13%]		112.9 kgf. [8.3%]		87.41 kgf. [6.4%]	





### RELACION DE SOPORTE - CBR [ ASTM D-1883 ]

COLLECTA	B-04-ALEJANDER MAURICIO YAGUEDI CARRERA	RECIPIENTE DE COMPRESION (Pa (N/DIAG))	Δ
TIPO	CAVALIDAD DE SOPORTE AL ESTABILIZAR AL SUELO DE LA	PLATINA (D-RODANTE) (Ca. (g/cm <sup>2</sup> ))	1.63M
	MATERIAL CON CORROSIVO CAL. ANEXO DE ORGANIGRAFIA	CONTENIDO HUMEDAD (%)	14.1
		CBR AL 10% DE LA M.D.S. (%)	11.0
MATERIAL	CEMENTACION PATROL	CBR AL 98% DE LA M.D.S. (%)	9.8
	FECHA	23-Feb-2010	
		EMBEBIDO	4.04g
		EXPANSION	2.1%
		ABSORCION	1.7%
		HUMEDAD DE PENETRACION	18.8%



PENETRACION (mm)



UNIVERSIDAD SAN PEDRO  
FACULTAD DE INGENIERIA  
Laboratorio de Mecánica de Suelos y Ensayo de Materiales  
*Jorge Montañez Reyes*  
Ing. Jorge Montañez Reyes  
JEFE



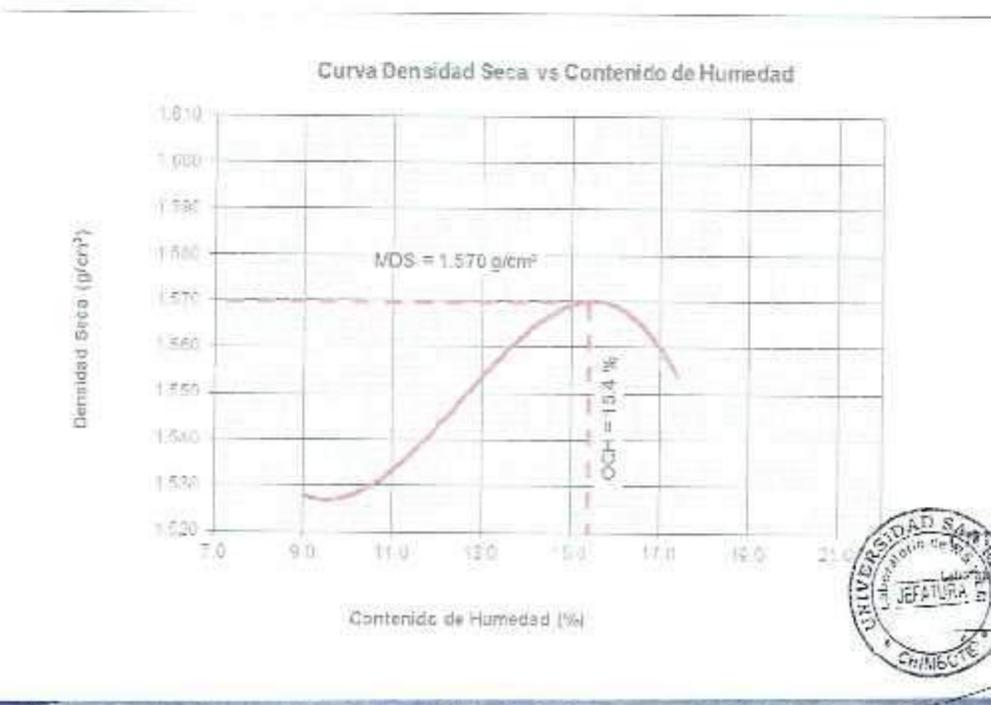
### PROCTOR MODIFICADO

NORMA ASTM D- 1557/ MTC E 115

SOLICITA BACH. ALEXANDER MAURICIO VASQUEZ CABRERA  
 TCGIS. CAPACIDAD DE SOPORTE AL ESTABILIZAR AL SUELO DE LA VIA CASCAJAL  
 CON CARBON Y CAL A NIVEL DE SUB RASANTE  
 MATERIAL C-3 SUB RASANTE EXPERIMENTAL  
 FECHA 23/08/2018

Metodo Compactación:	"A"	Número de Golpes		58
Energía de Compactación: Standar	27.7 Kg.cm / cm <sup>2</sup>			
01 - Peso Suelo Humedo + Molde (g)	3748	3800	3902	3916
02 - Peso del Molde (g)	1979.0	1979.0	1979.0	1979.0
03 - Peso Suelo Humedo (g)	1769.0	1821.0	1923.0	1937.0
04 - Volumen del Molde (cm <sup>3</sup> )	1062.0	1062.0	1062.0	1062.0
05 - Densidad Suelo Humedo (g/cm <sup>3</sup> )	1.666	1.715	1.811	1.824
06 - Tarro N°	01	02	03	04
07 - Peso suelo humedo + tarro (g)	456.0	570.0	350.0	590.0
08 - Peso suelo seco + tarro (g)	424.0	520.0	312.0	512.0
09 - Peso del agua (g)	32.0	50.0	38.0	78.0
10 - Peso del tarro (g)	69.6	85.0	63.0	64.0
11 - Peso suelo seco (g)	354.5	435.0	249.0	447.7
12 - Contenido de Humedad (%)	9.0	11.5	15.3	17.4
13 - Densidad del Suelo Seco (g/cm <sup>3</sup> )	1.528	1.538	1.570	1.554

Contenido Optimo Humedad 15.4 % Densidad Seca Maxima. 1.570 g/cm<sup>3</sup>



UNIVERSIDAD SAN PEDRO  
 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL  
 Laboratorio de Mecánica de Suelos y Ensayo de Materiales  
 JEFATURA  
 Montañez Reyes  
 JEFE



RELACIÓN DE SOPORTE - CBR  
NORMA ASTM D- 1883

SOLICITA RACH, ALEXANDER MAURICIO VASQUEZ CABRERA  
TESIS CAPACIDAD DE SOPORTE AL ESTABILIZAR AL SUELO DE LA VIA CASCAJAL  
CON CARBON Y CAL A NIVEL DE SUB RASANTE  
MATERIAL C-3 SUB RASANTE EXPERIMENTAL  
FECHA 23/08/2018

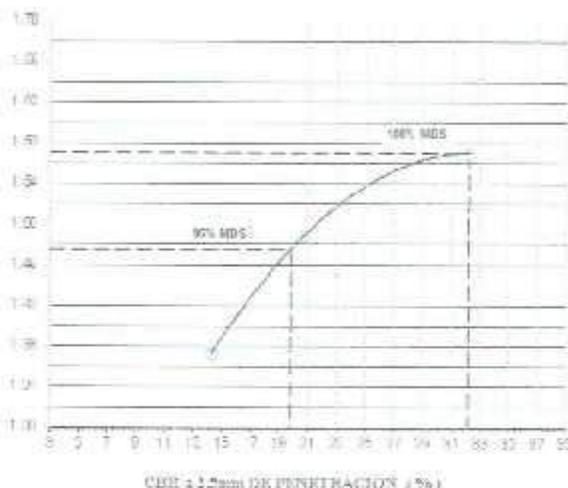
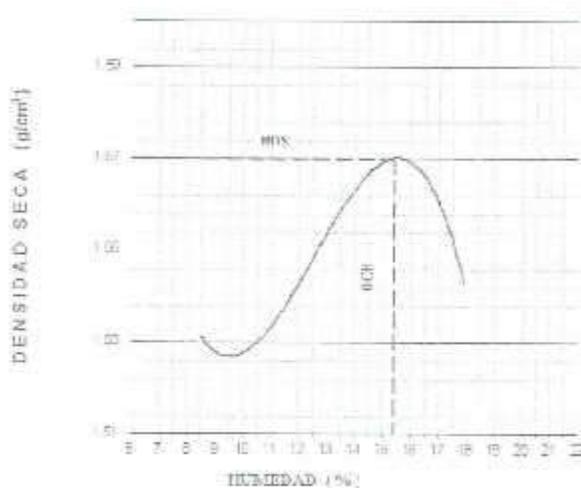
Características						
Numero de Molde	1		2		3	
Numero de Capas	5		5		5	
Numero de Golpe	56		25		12	
Energia Compactacion [kg-cm/cm <sup>2</sup> ]	27.7		12.2		6.1	
<b>Densidad Seca [CBR]</b>						
01 - Peso suelo humedo + molde (g)	8,436.0		8,259.0		7,761.0	
02 - Peso del molde (g)	4,432.0		4,577.0		4,572.0	
03 - Peso suelo humedo (g)	4,004.0		3,679.0		3,189.0	
04 - Volumen de molde, cm <sup>3</sup>	2,210.000		2,141.000		2,012.000	
05 - Densidad suelo humedo (g/cm <sup>3</sup> )	1.812		1.716		1.585	
06 - Tarro N	0.0		0.0		0.0	
07 - Peso suelo humedo + tarro (g)	415.0		400.0		390.0	
08 - Peso suelo seco + tarro (g)	359.6		346.6		338.1	
09 - Peso del agua (g)	55.4		53.4		51.9	
10 - Peso del tarro (g)	0.0		0.0		0.0	
11 - Peso suelo seco (g)	359.6		346.6		338.1	
12 - Contenido de humedad (%)	15.4		15.4		15.4	
13 - Densidad del suelo seco (g/cm <sup>3</sup> )	1.570		1.489		1.374	
<b>Saturación</b>						
Embebido	Fecha	Hora	Lec. Dial	Lec. Dial	Lec. Dial	Lec. Dial
Dia 01	17-Oct-18	5.00PM	0.04	0.03		0.06
Dia 02	18-Oct-16	5.00PM	0.06	0.07		0.08
Dia 03	19-Oct-16	5.00PM	0.09	0.09		0.10
Dia 04	20-Oct-16	5.00PM	0.11	0.14		0.16
Expansion, %			2.4	3.1		3.6
<b>Absorción</b>						
Numero de molde	1		2		3	
01 - Peso suelo humedo antes (g)	4,004.0		3,679.0		3,189.0	
02 - Peso suelo embebido + molde (g)	8,616.4		9,447.3		7,949.0	
03 - Peso del molde (g)	4,432.0		4,577.0		4,572.0	
04 - Peso suelo embebido (g)	4,184.4		3,870.3		3,377.0	
05 - Peso del agua absorbida (g)	180.4		191.3		188.0	
06 - Peso del suelo seco (g)	3,468.5		3,187.9		2,764.6	
07 - Absorción de agua (%)	5.2		6.0		6.8	
<b>Penetración</b>						
Factor Anillo: Carga [kgf.] - Lectura Dial*4.2491345+27.92018						
Molde	1 [56 Golpes]		2 [25 Golpes]		3 [12 Golpes]	
PEN. (mm)	Lec. Dial	Carga [Kgf.]	Lec. Dial	Carga [Kgf.]	Lec. Dial	Carga [Kgf.]
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.63	8.0	81.9	6.0	53.4	4.0	44.9
1.3	28.3	145.9	16.0	95.9	10.3	70.4
1.9	47.0	227.5	29.0	146.9	18.0	104.4
2.5	67.0	440.09	41.0	202.15	26.0	146.90
3.2	116.0	520.6	64.0	299.9	42.0	206.4
3.8	139.0	614.3	80.0	367.9	69.0	321.1
5.08	196.0	860.8	118.0	529.3	89.0	438.1
7.6	249.0	1086.0	170.0	750.3	128.0	576.1
10.16	293.0	1272.9	190.0	835.3	146.0	648.3
12.7	327.0	1417.4	217.0	950.0	177.0	700.0
Carga [%]	440.09 kgf. [32.3%]		202.13 kgf. [14.9%]		146.9 kgf. [10.8%]	





### RELACIÓN DE SOPORTE - CBR [ ASTM D-1883 ]

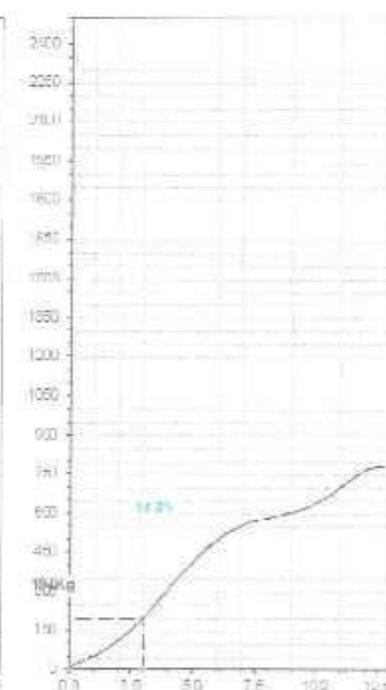
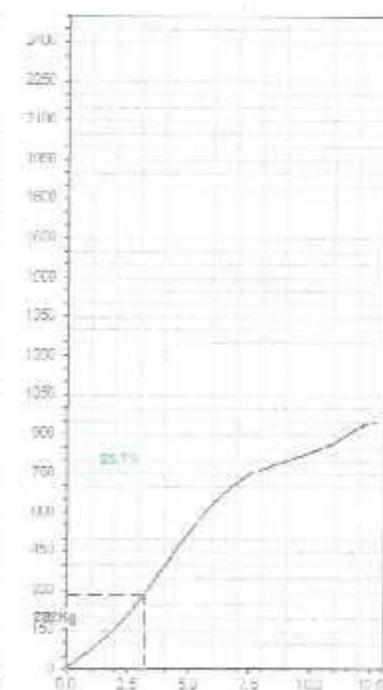
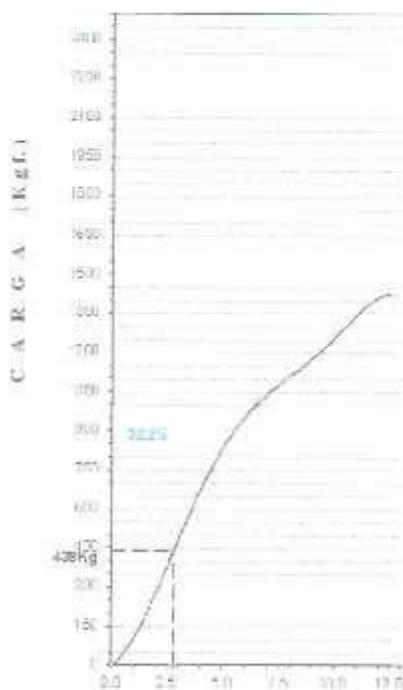
SOLICITA	BRUNO ALFARADO MARIANO VÁSQUEZ CÁRPERA	METODO DE COMPACTACION	(ASTM D-1557)	A	
TESIS	DIAGNÓSTICO DE SOPORTE AL ESTABLECER AL SUELO DE LA	MAYOR DENSIDAD SECA (g/cm <sup>3</sup> )		1.570	
	VIA CASCAJAL CON CARRERA Y CAL A NIVEL DE SUBGRANITO	OPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD (%)		15.4	
		CBR AL 100% DE LA M.D.S. (%)		32.2	
MATERIAL	TIPO SUBGRANITO DIFERENCIAL	CBR AL 95% DE LA M.D.S. (%)		39.8	
		ADSORCIÓN	0.2 %	HUMEDAD DE PENETRACION	20.8 %
	FECHA	25 Ago 2019			



(MDS) M.D.S. (g/cm<sup>3</sup>)

(MDS) M.D.S. (g/cm<sup>3</sup>)

(MDS) M.D.S. (g/cm<sup>3</sup>)



P E N E T R A C I O N (mm)



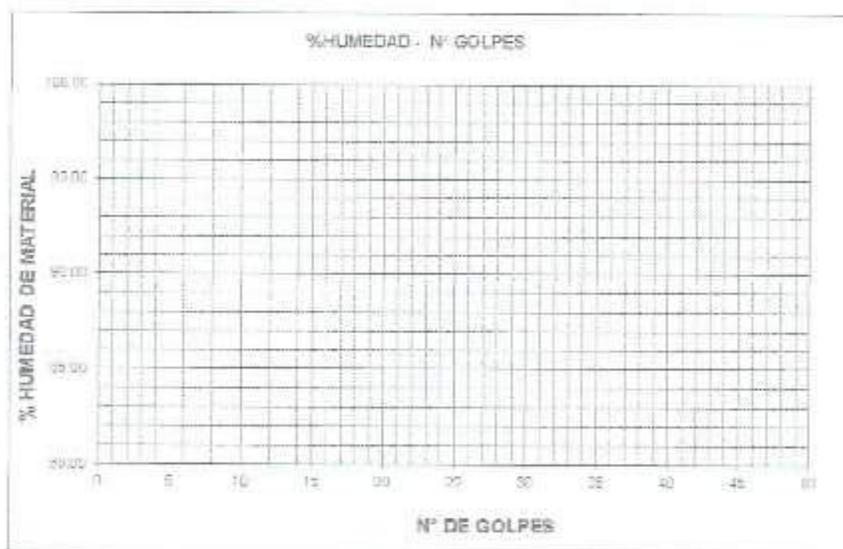
UNIVERSIDAD SAN PEDRO  
FACULTAD DE INGENIERIA  
LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y ENSAYO DE MATERIALES  
*Chelva / Carre / ...*  
Ing. J. Montañez Reyes  
JEFE



### LIMITE LIQUIDO Y LIMITE PLASTICO (MTC E-110, E-111, ASTM D-4318 y MTC E-110, AASHTO T89, T90)

SOLICITA BACH. ALEXANDER MAURICIO VASQUEZ CABRERA  
 PROYECTO CAPACIDAD DE SOPORTE AL ESTABILIZAR AL SUELO DE LA VIA CASCAJAL CON CARBON Y CAL  
 A NIVEL DE SUB RASANTE  
 FECHA 23/07/2018

Nro. DE ENSAYO	LIMITE LIQUIDO			LIMITE PLASTICO		
	1	2	3	1	2	3
PESO TARA + SUELO HUMEDO (gr.)	*	*	*	*	*	*
PESO TARA + SUELO SECO (gr.)	*	*	*	*	*	*
PESO DE LA TARA (gr.)	*	*	*	*	*	*
PESO DEL AGUA (gr.)	*	*	*	*	*	*
PESO SUELO SECO (gr.)	*	*	*	*	*	*
CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	N.P.	N.P.	N.P.	N.P.	N.P.	N.P.
Nro. DE GOLPES						



LIMITE LIQUIDO (MTC E-110, ASTM D-4318 y AASHTO T89)	
LL :	% N.P.
LIMITE PLASTICO (MTC E-111, ASTM D-4318 y AASHTO T90)	
LP :	% N.P.
INDICE DE PLASTICIDAD ASTM D-438	
IP :	% N.P.


 UNIVERSIDAD SAN PEDRO  
 FACULTAD DE INGENIERIA  
 Laboratorio de Mecánica de Suelos y Fijas  
 Chimbote  
 Ing. Jorge Montañez Reyes  
 JEFE

**ANEXOS N°4**  
**Ubicación Geográfica**

## UBICACIÓN DE LA MINA “LA GALGADA”



**Coordenadas: 8°27'47.5"S 78°09'13.9"W**

**ANEXOS N°5**  
**Prueba T Student**

<b>Resumen de procesamiento de casos</b>						
	Casos					
	Válido		Perdidos		Total	
	N	Porcentaje	N	Porcentaje	N	Porcentaje
CBR (95%)PAT.	3	100,0%	0	0,0%	3	100,0%
CBR (95%)EXP.	3	100,0%	0	0,0%	3	100,0%
CBR (100%)PAT.	3	100,0%	0	0,0%	3	100,0%
CBR (100%)EXP.	3	100,0%	0	0,0%	3	100,0%

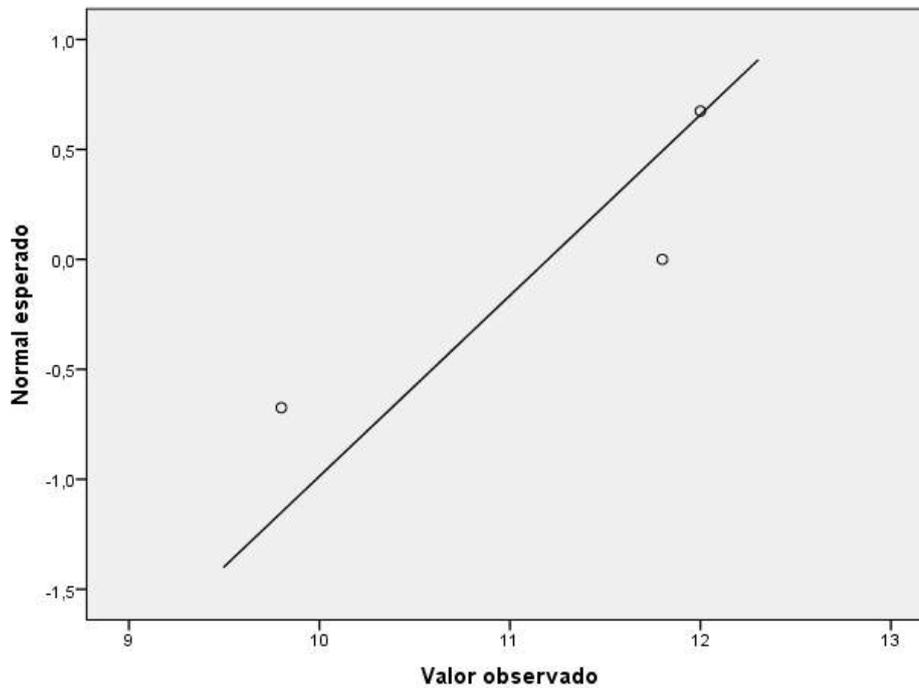
<b>Descriptivos</b>				
			Estadístico	Error estándar
CBR (95%)PAT.	Media		11,200	,7024
	95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	8,178	
		Límite superior	14,222	
	Media recortada al 5%		.	
	Mediana		11,800	
	Varianza		1,480	
	Desviación estándar		1,2166	
	Mínimo		9,8	
	Máximo		12,0	
	Rango		2,2	
	Rango intercuartil		.	
	Asimetría		-1,680	1,225
	Curtosis		.	.
	CBR (95%)EXP.	Media		20,767
95% de intervalo de confianza para la media		Límite inferior	11,222	
		Límite superior	30,311	
Media recortada al 5%		.		

	Mediana		19,800	
	Varianza		14,763	
	Desviación estándar		3,8423	
	Mínimo		17,5	
	Máximo		25,0	
	Rango		7,5	
	Rango intercuartil		.	
	Asimetría		1,060	1,225
	Curtosis		.	.
CBR (100%)PAT.	Media		15,200	,6429
	95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	12,434	
		Límite superior	17,966	
	Media recortada al 5%		.	
	Mediana		15,400	
	Varianza		1,240	
	Desviación estándar		1,1136	
	Mínimo		14,0	
	Máximo		16,2	
	Rango		2,2	
	Rango intercuartil		.	
	Asimetría		-,782	1,225
	Curtosis		.	.
	CBR (100%)EXP.	Media		32,167
95% de intervalo de confianza para la media		Límite inferior	24,341	
		Límite superior	39,992	
Media recortada al 5%			.	
Mediana			32,200	
Varianza			9,923	
Desviación estándar			3,1501	
Mínimo			29,0	
Máximo			35,3	
Rango			6,3	
Rango intercuartil			.	
Asimetría			-,048	1,225
Curtosis			.	.

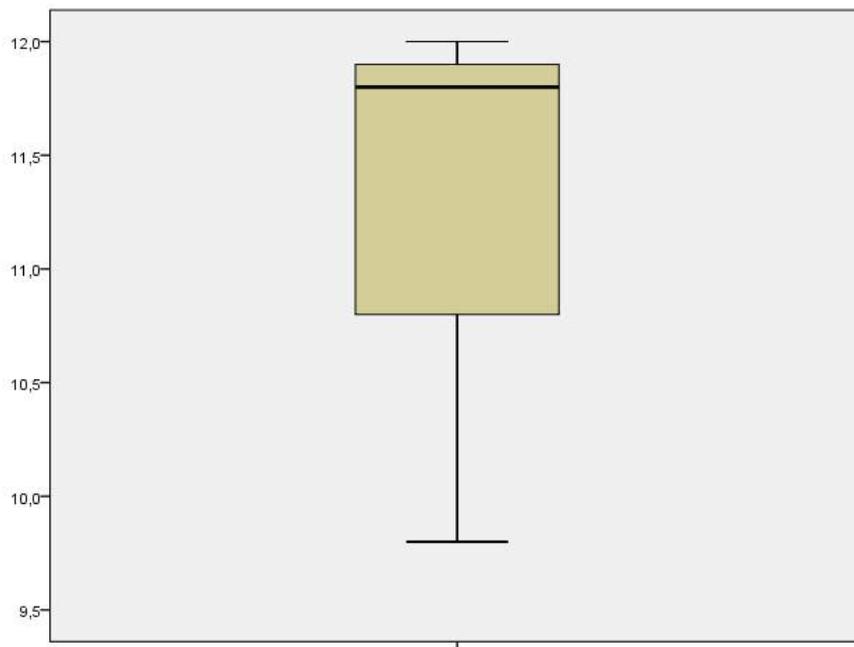
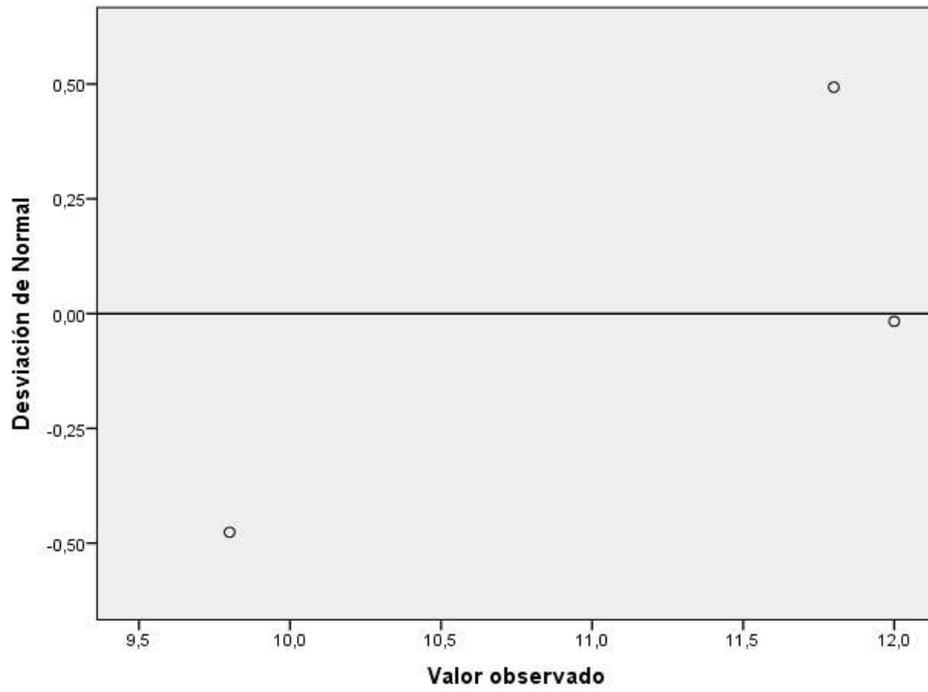
Pruebas de normalidad						
	Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup>			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
CBR (95%)PAT.	,356	3	.	,818	3	,157
CBR (95%)EXP.	,266	3	.	,953	3	,581
CBR (100%)PAT.	,238	3	.	,976	3	,702
CBR (100%)EXP.	,176	3	.	1,000	3	,982

a. Corrección de significación de Lilliefors

**GRAFICO Q-Q NORMAL DE CBR (95%) PATRON**

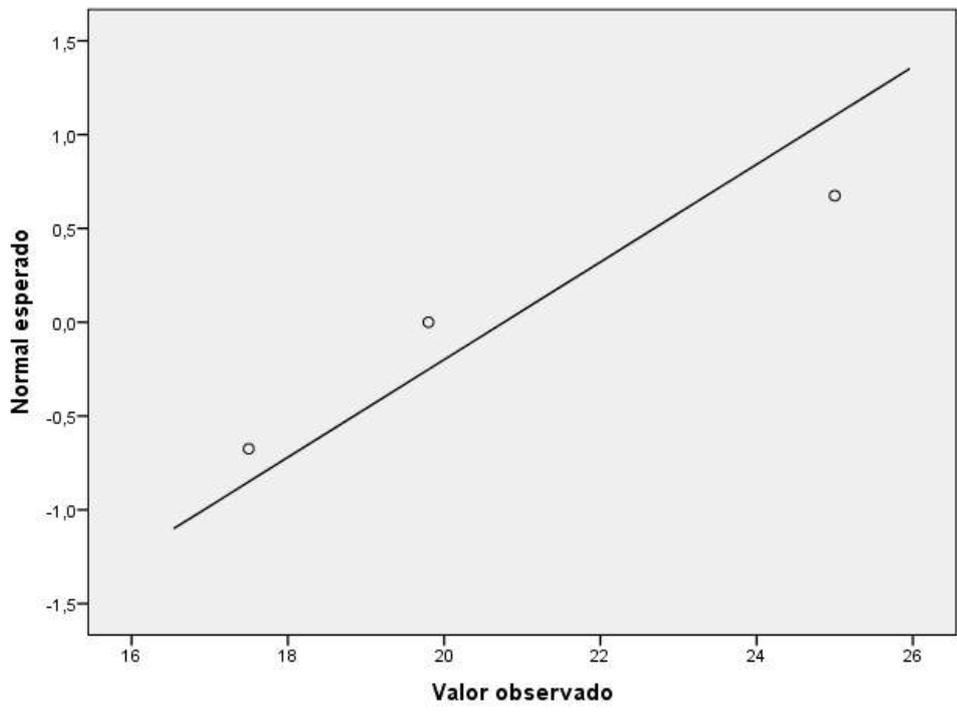


**GRAFICO Q-Q NORMAL SIN TENDENCIA DE CBR (95%) PATRON**

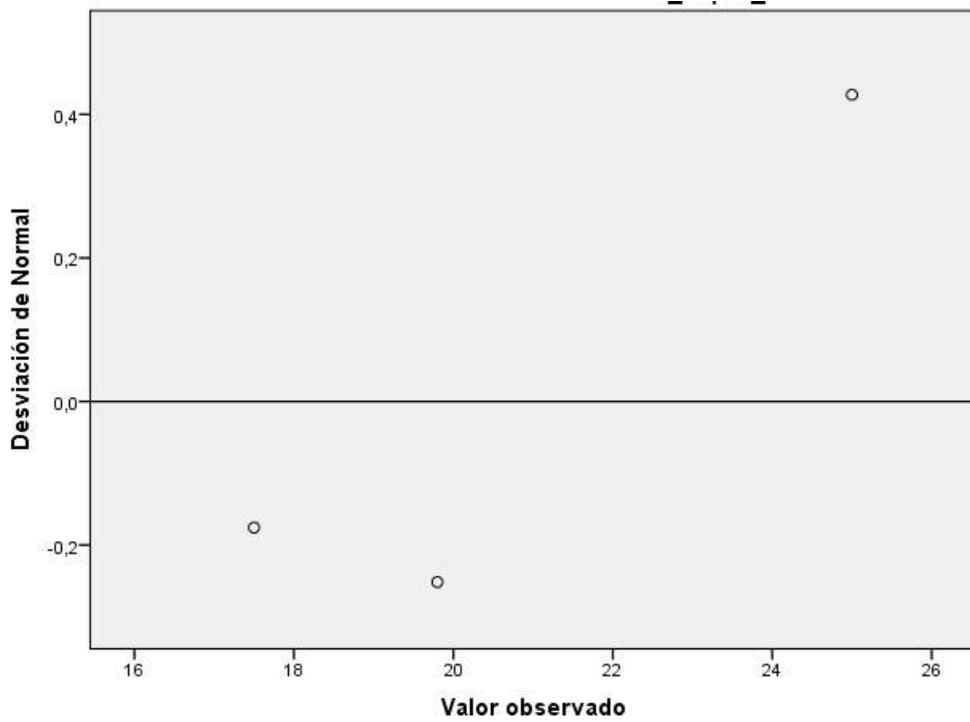


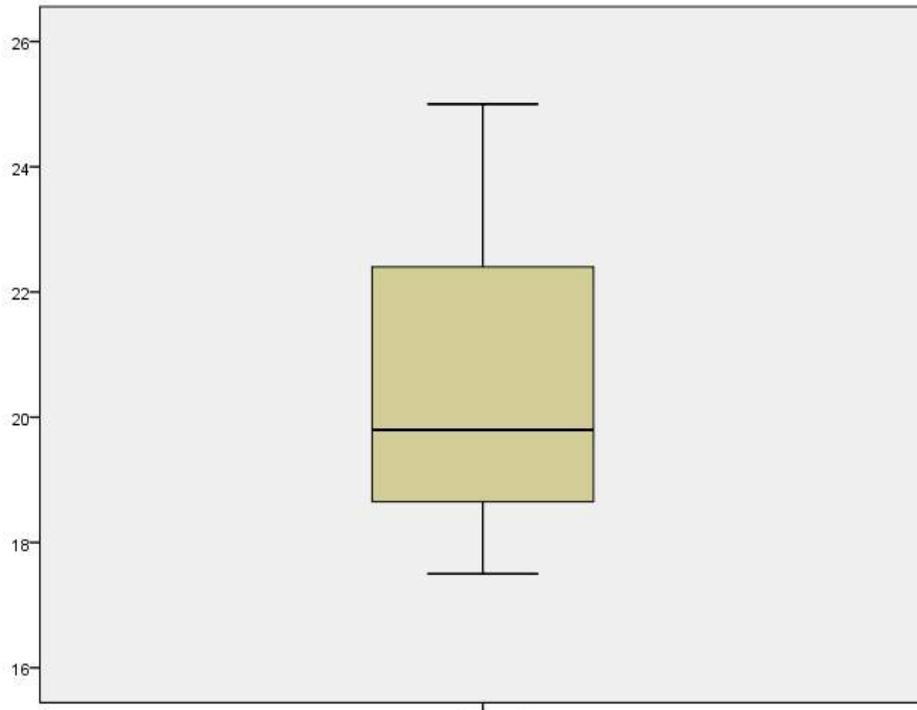
CBR (95%) PATRON

**GRAFICO Q-Q NORMAL DE CBR (95%) EXPERIMENTAL**



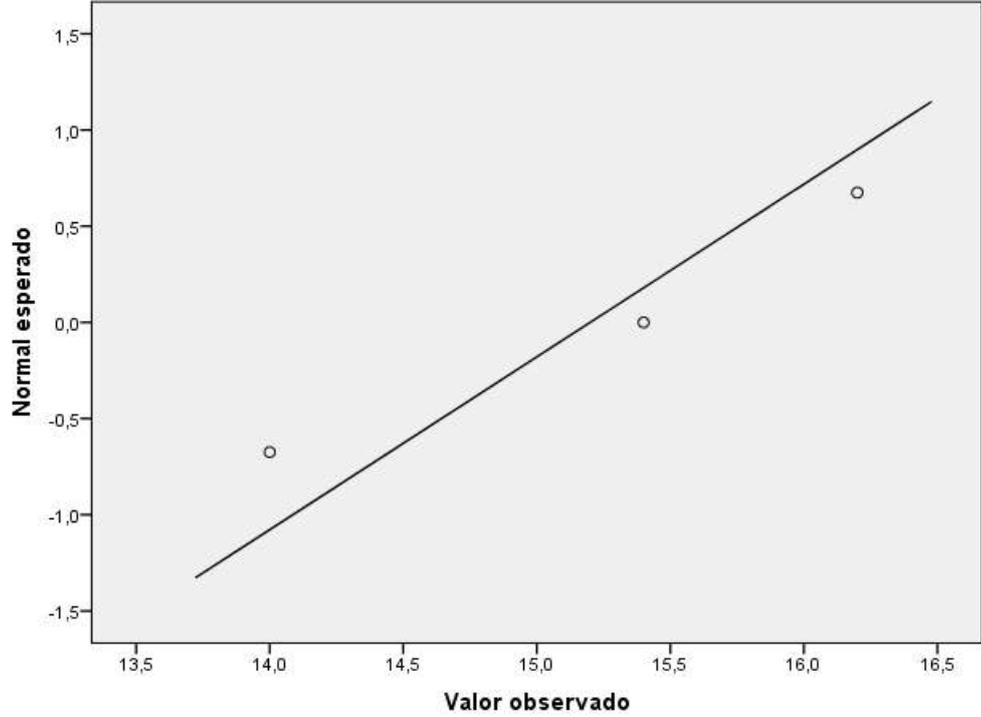
**GRAFICO Q-Q NORMAL SIN TENDENCIA DE CBR (95%)  
EXPERIMENTAL**



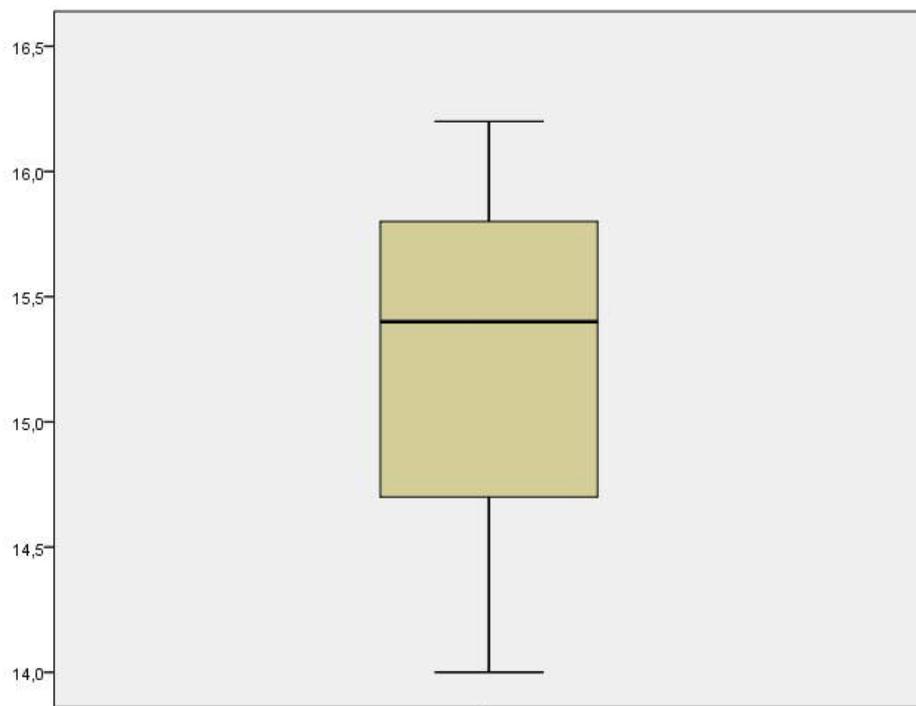
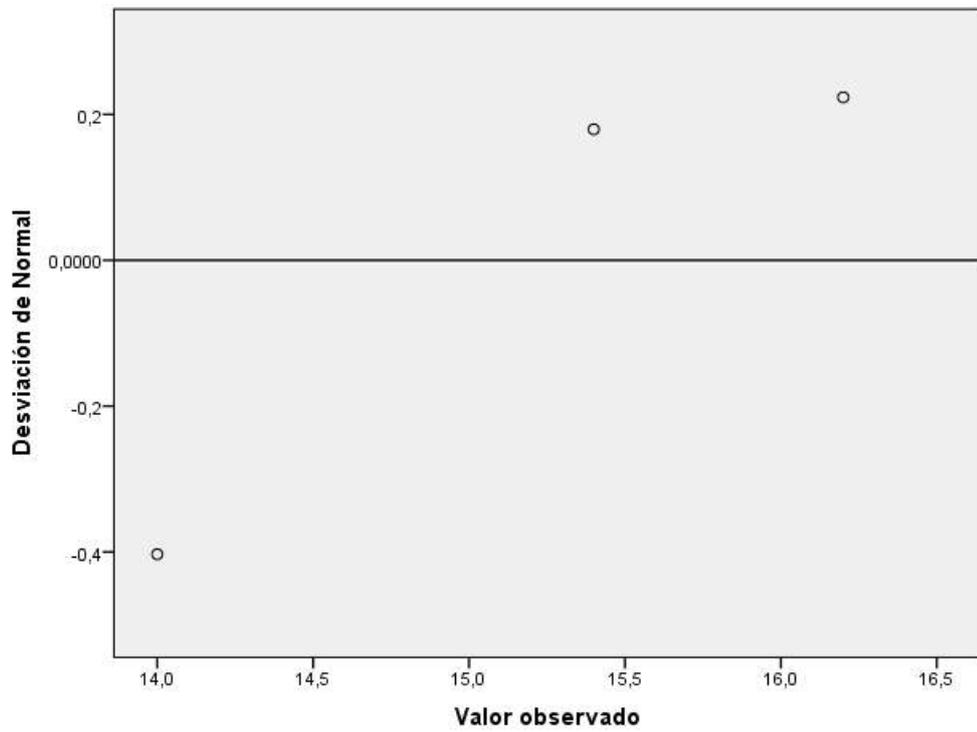


CBR (95%) EXPERIMENTAL

**GRAFICO Q-Q NORMAL DE CBR (100%) PATRON**

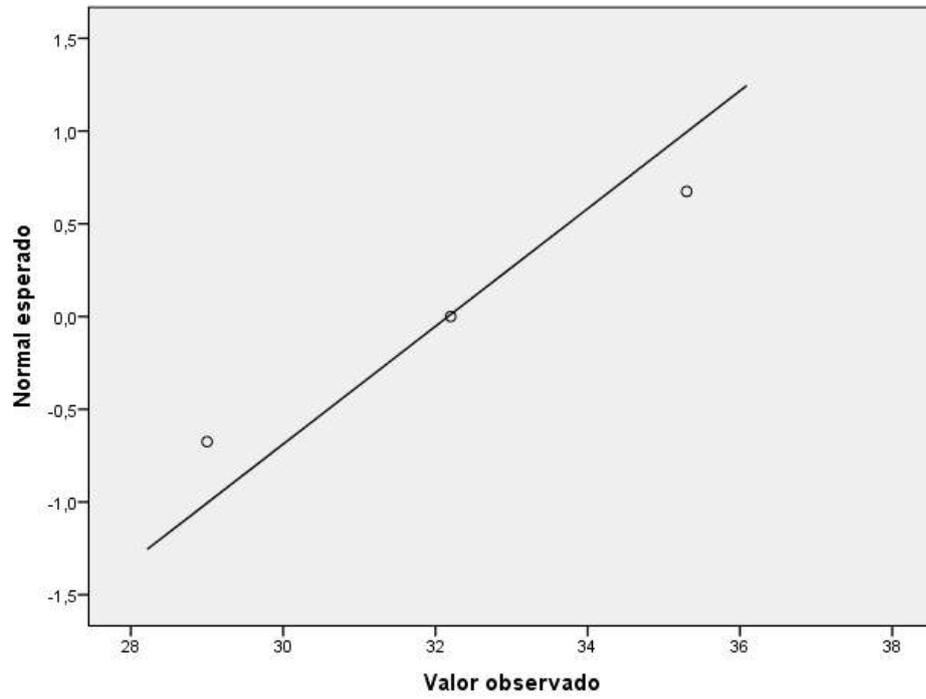


### GRAFICO Q-Q NORMAL SIN TENDENCIA DE CBR (100%) PATRON

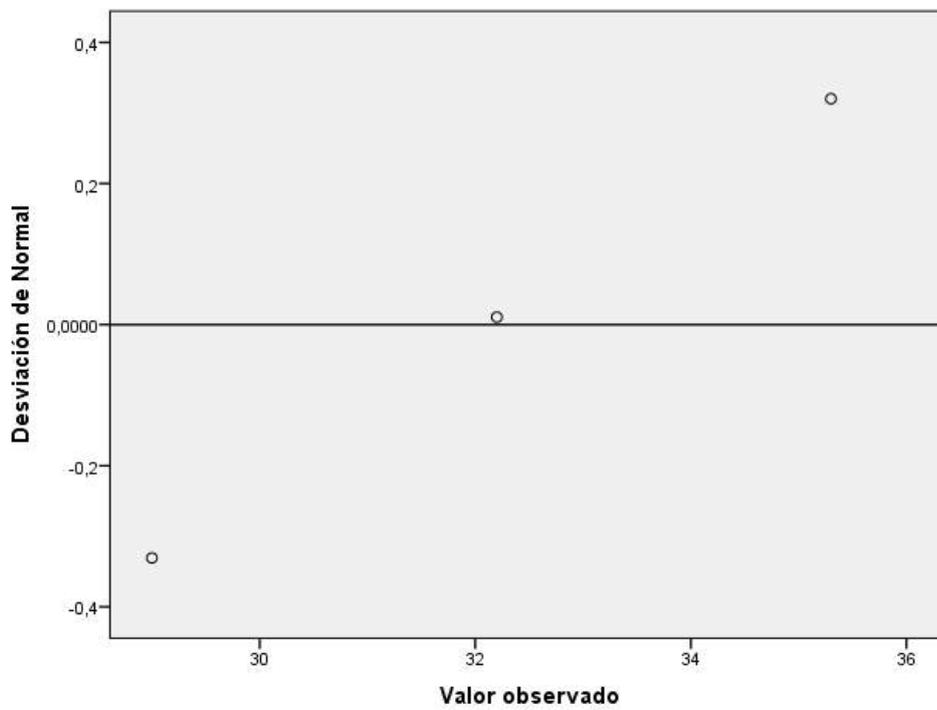


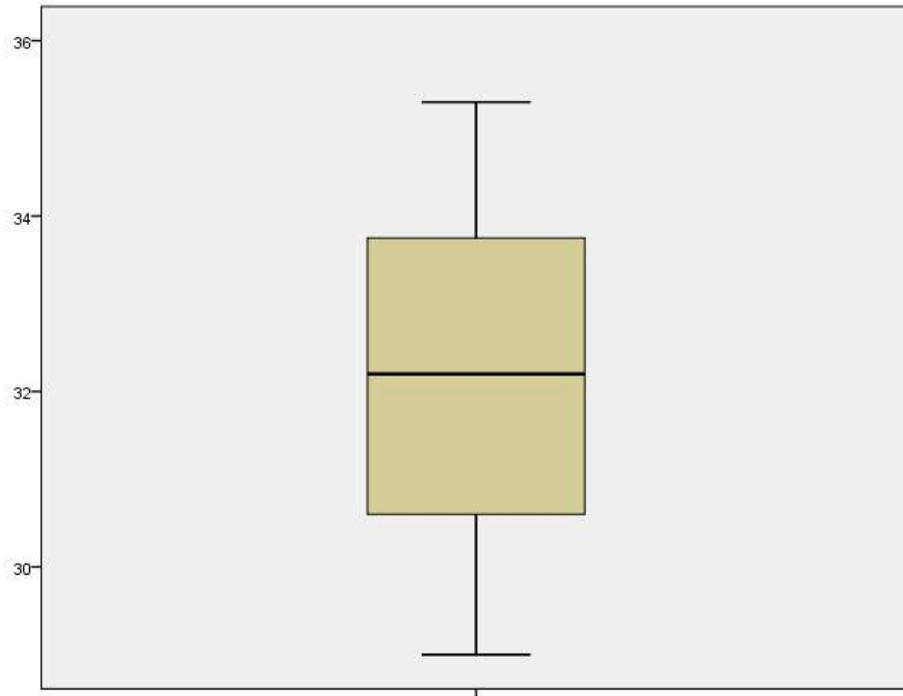
CBR (100%) PATRON

**GRAFICO Q-Q NORMAL DE CBR (100%) EXPERIMENTAL**



**GRAFICO Q-Q NORMAL SIN TENDENCIA DE CBR (100%) EXPERIMENTAL**





CBR (100%) EXPERIMENTAL

**Prueba T**

Estadísticas de grupo					
	Grupo	N	Me dia	Desviaci ón estándar	Media de error estándar
CBR (95%)	Patrón	3	11,2 00	1,2166	,7024
	Experi mental	3	20,7 67	3,8423	2,2184

<b>Prueba de muestras independientes</b>				
		Prueba de Levene de igualdad de varianzas		prueba t para la igualdad de medias
		F	Sig.	t
CBR (95%)	Se asumen varianzas iguales	3,581	,131	-4,111
	No se asumen varianzas iguales			-4,111

<b>Prueba de muestras independientes</b>				
		prueba t para la igualdad de medias		
		gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias
CBR (95%)	Se asumen varianzas iguales	4	,015	-9,5667
	No se asumen varianzas iguales	2,397	,040	-9,5667

<b>Prueba de muestras independientes</b>				
		prueba t para la igualdad de medias		
		Diferencia de error estándar	95% de intervalo de confianza de la diferencia	
			Inferior	Superior
CBR (95%)	Se asumen varianzas iguales	2,3269	-16,0272	-3,1062
	No se asumen varianzas iguales	2,3269	-18,1459	-,9874

## Prueba T

Estadísticas de grupo					
	Grupo	N	Me dia	Desviaci ón estándar	Media de error estándar
CBR (100%)	Patrón	3	15,2 00	1,1136	,6429
	Experi mental	3	32,1 67	3,1501	1,8187

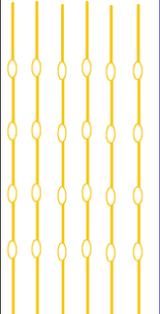
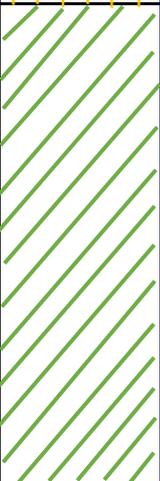
Prueba de muestras independientes				
		Prueba de Levene de igualdad de varianzas		prueba t para la igualdad de medias
		F	Sig.	t
CBR (100%)	Se asumen varianzas iguales	1,46 6	,293	-8,795
	No se asumen varianzas iguales			-8,795

Prueba de muestras independientes				
		prueba t para la igualdad de medias		
		gl	Sig. (bilateral)	Diferenc ia de medias
CBR (100%)	Se asumen varianzas iguales	4	,001	-16,9667
	No se asumen varianzas iguales	2,492	,006	-16,9667

<b>Prueba de muestras independientes</b>				
		prueba t para la igualdad de medias		
		Diferencia de error estándar	95% de intervalo de confianza de la diferencia	
			Inferior	Superior
CBR (100%)	Se asumen varianzas iguales	1,9290	-22,3225	- 11,6109
	No se asumen varianzas iguales	1,9290	-23,8778	- 10,0555

**ANEXOS N°6**  
**Perfil Estratigráfico**

**PROYECTO** : Capacidad de soporte al estabilizar el suelo de la Via Cascajal con adición de 7% de carbón y 4% de cal a nivel de sub rasante  
**UBICACIÓN** : Distrito del Santa- Provincia del Santa - Departamento Ancash  
**RESPONSABLE** : Bach.Alexander Mauricio Vasquez Cabrera  
**FECHA** : Septiembre de 2018  
**CALICATA** : C - 1 **NIVEL FREATICO** : No presente  
**PROFUNDIDAD** : 0.00 - 1.50m **PROGRESIVA** : 0+250

PROF. ( m )	TIPO DE EXCAVACION	MUESTRA	DESCRIPCION DEL MATERIAL	CLASIFICACION		SIMBOLO
				SUCS	AASHTO	
0.1	A CIELO ABIERTO	M - 1	MATERIAL DE GRAVA LIMOSA CON ARENA, COLOR MARRON OSCURO,SEMI HUMEDO, SEMI SUELTO, CON PRESENCIA DE GRAVA.	GM	A-2-5	
0.2						
0.3						
0.4						
0.5		M - 2	MATERIAL DE ARCILLA ARENOSA DE BAJA PLASTICIDAD, COLOR MARRON AMARILLENTO ,HUMEDO, SEMI SUELTO, ARENOSO	CL	A-4	
0.6						
0.7						
0.8						
0.9						
1						
1.1						
1.2						
1.3						
1.4						
1.5						





**ANEXOS N°6**  
**Panel Fotográfico**

## 1. RECOLECCION DE MATERIALES



**FIGURA N°1:** Extracción de mezcla de suelo de la calicata N°01 de la Vía cascajal km15 a km 16.



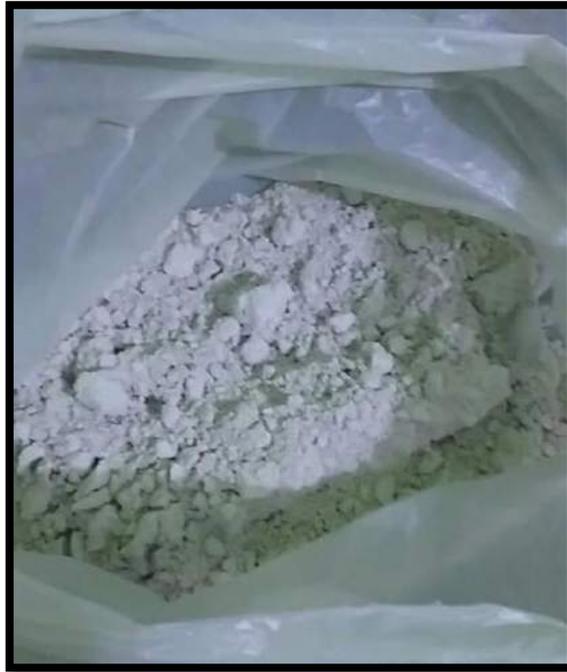
**FIGURA N°2:** Extracción de mezcla de suelo de la calicata N°02 de la Vía cascajal km15 a km 16.



**FIGURA N°3:** Extracción de mezcla de suelo de la calicata N°03 de la Vía cascajal km15 a km 16.



**FIGURA N°4:** Extracción de carbón mineral de la cantera La Galgada.



**FIGURA N°5:** Cal usada para el proyecto.



**FIGURA N°6:** Levantamiento Topográfico con odómetro.



*FIGURA N°7:* Levantamiento Topográfico con Teodolito.

## **ENSAYOS DE LABORATORIO**

### **➤ ANALISIS GRANULOMETRICO**



*FIGURA N°8:* Tamizado del material.

➤ PROCTOR MODIFICADO



*FIGURA N°9:* Compactación de los moldes de Proctor Modificado.

➤ CALIFORNIA BEARING RATIO (CBR)



*FIGURA N°10:* Saturación de los moldes de CBR.



**FIGURA N°11:** Penetración de los moldes de CBR.