



UNIVERSIDAD  
PRIVADA  
DEL NORTE

# FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de Ingeniería Civil

## **“EVALUACIÓN DEL CLORURO DE CALCIO COMO AGENTE MITIGADOR DE POLVO Y ESTABILIZADOR EN VÍAS DE AFIRMADO”**

Trabajo de investigación para optar al grado de:

**Bachiller en Ingeniería Civil**

**Autor:**

Diego Barezzi Guevara Avila

**Asesor:**

Msc. Ing. Alejandro Vera Lázaro

Trujillo - Perú

2018

## TABLA DE CONTENIDO

<b>DEDICATORIA .....</b>	<b>3</b>
<b>AGRADECIMIENTO.....</b>	<b>4</b>
<b>RESUMEN.....</b>	<b>5</b>
<b>CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>6</b>
<b>CAPÍTULO II. METODOLOGÍA .....</b>	<b>10</b>
<b>CAPÍTULO III. TRABAJO Y RESULTADOS .....</b>	<b>25</b>
<b>CAPÍTULO IV. MATRIZ DE CONSISTENCIA .....</b>	<b>26</b>
<b>CAPÍTULO V. BIBLIOGRAFIA .....</b>	<b>27</b>

## DEDICATORIA

### **A DIOS:**

Por darme la vida y por permitirme disfrutar a base de esfuerzo, logros tan importantes como este.

**A MIS PADRES:** Por ser mis motores impulsores, fundamentales para el logro de mis metas y por ser mi gran ejemplo de vida a seguir.

A todas las personas que incondicionalmente brindaron su ayuda para el logro de este triunfo profesional.

**Diego Guevara Ávila**

### **A Dios.**

Por haberme permitido llegar hasta este punto y haberme dado salud para lograr mis objetivos, además de su infinita bondad y amor.

### **A mi madre Graciela.**

Por haberme apoyado en todo momento, por sus consejos, sus valores, por la motivación constante que me ha permitido ser una persona de bien, pero más que nada, por su amor.

**Héctor Peña Verde**

## AGRADECIMIENTO

**A DIOS**, por habernos dado la fortaleza, todas las bendiciones y su iluminación en nuestros caminos para el logro de nuestras metas profesionales.

A la Universidad Privada del Norte por habernos formado y brindado la oportunidad de crecer intelectualmente y a la vez forjarnos como personas de bien.

A las empresas e instituciones que nos colaboraron desinteresadamente durante el desarrollo de nuestro trabajo de graduación, con asesoría técnica, instalaciones y equipo de laboratorio. De manera muy especial, agradecemos a las siguientes instituciones que en su debido momento nos brindaron su valiosa colaboración

## RESUMEN

El Cloruro de Calcio es un producto químico que durante años se ha utilizado en la estabilización de caminos. Una de las propiedades que tiene el Cloruro de Calcio es la de absorber agua de la atmosfera y retenerla; al aplicarse sobre el camino, lo mantiene húmedo, aprovechando la humedad y el tránsito de vehículos, se mejoran las condiciones para la compactación, obteniéndose una mayor estabilidad del camino. El polvo que generan los vehículos al circular por vías de afirmado produce impactos negativos a las poblaciones e instalaciones cercanas, estas vías se deterioran con facilidad y requieren de periódicas intervenciones para mantenerlas en condiciones aceptables. Este proyecto tuvo como propósito evaluar la efectividad del Cloruro de Calcio como agente estabilizador de afirmados para carretera. El estudio se centró en la vía afirmada que inicia en el KM 855 de la Panamericana Norte y finaliza en el Proyecto Especial Tinajones Olmos.

**PALABRAS CLAVES:** Vías de afirmado, control de polvo, cloruro de calcio.

## CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

### 1.1. Realidad problemática

El Perú es un país que crece a tasas superiores a 5% al año, que tiene como uno de sus principales problemas el déficit de infraestructura vial. La red vial nacional tiene una longitud de 26,706 Km., de los cuales 7,020.4 Km. (26.3%) son caminos no pavimentados; la red vial departamental tiene una longitud de 26,028.2 Km., de los cuales 22,309.2 Km. (85.71%) son caminos no pavimentados; la red vial vecinal tiene una longitud de 137,387.3 Km., de los cuales 111,495.4 Km. (81.1%) son caminos no pavimentados. Habiendo una longitud total de 140,825 Km. (74.07%) de red vial no pavimentada. Uno de los motivos de la no pavimentación de estos caminos es que estos tienen un tráfico relativamente bajo, lo que hace económicamente inviable su pavimentación. Sin embargo, dichos caminos recubren una importancia fundamental en el desarrollo productivo y en el crecimiento social de la población, ya que permiten conectar poblaciones rurales con el resto de la región circundante y del país, realizar el transporte de turistas a los centros arqueológicos o turísticos, realizar el transporte inicial de la producción de centros con potencial económico (zonas mineras, agrícolas o ganaderas) hasta las redes pavimentadas, o incluso garantizar la accesibilidad a sectores de gran valor estratégico (zonas de frontera). Por ello, es muy importante asegurar su transitabilidad en condiciones mínimamente aceptables durante el tiempo más prolongado posible. Para ello los organismos viales aplican usualmente técnicas tradicionales de conservación, de forma periódica, que consiste en el re perfilado, humectado y compactado de la vía. La ejecución de estos trabajos tradicionales implica la inversión de magnitudes considerables en maquinaria, personal e insumos, especialmente cuando la red no pavimentada es una red muy extensa. Bajo esta demanda se requiere la investigación y desarrollo de técnicas alternativas que den solución a la durabilidad de caminos no pavimentados. Es por eso que, ante esta necesidad, se plantea utilizar productos de origen químico (cloruro de Calcio), debido a su excelente capacidad de captar y retener la humedad del ambiente, este aditivo está destinado a estabilizar la capa superficial de rodadura y de esa manera reducir sensiblemente la progresión de un

deterioro superficial, además de minimizar efectos ambientales nocivos tales como la emisión de polvo en suspensión.

La creciente importancia de mejorar e intervenir en las vías de comunicación de áreas urbanas en nuestro país, hace que sea necesario la búsqueda de múltiples alternativas en el uso de estabilizantes de suelos para mejorar las propiedades físico - mecánicas del suelo. Es cierto que, el uso de aditivos en la estabilización de suelo es limitado en las vías urbanas, aunque es uno de los principales aspectos relacionados con el crecimiento de una ciudad y de una región, teniendo como consecuencia las ventajas comparativas que se pueden adquirir de una ciudad frente a otra. Así mismo, el estado de las vías urbanas es un parámetro importante relacionado con la calidad de vida de los ciudadanos. Por otro lado, Gutiérrez (2010) en su trabajo ESTABILIZACION QUIMICA DE CARRETERAS NO PAVIMENTADAS EN EL PERU Y VENTAJAS COMPARATIVAS DEL CLORURO DE MAGNESIO (BISCHOFITA) FRENTE AL CLORURO DE CALCIO menciona que: “La inestabilidad de los suelos es uno de los principales problemas que presentan las carreteras no pavimentadas; para corregir este problema se usan variadas técnicas de estabilización de suelos; una de las formas de estabilización de suelos, es aquella que se realiza utilizando productos químicos no tóxicos que dotan a estos suelos (carreteras) un mejor comportamiento en servicio”. Observando la necesidad de estabilizar este

En el sector de Lambayeque en la Carretera que inicia en el KM 855 de la panamericana norte hasta la zona del proyecto Olmos se encuentra un tipo de suelo arcilloso, arenoso y expansivo por lo cual, se ha de plantear soluciones al momento de realizar un proyecto de pavimentación, siendo el principal problema su bajo CBR, se debe considerar que en Perú el uso de aditivos químicos estabilizantes de suelo para mejorar las propiedades físico – mecánicas en áreas urbanas es limitado frente a los tratamientos tradicionales como son el compactado mecánico o la sustitución del material de baja calidad por un material que proporcione mayor CBR y mejores características físicas.

## **1.2. Formulación del problema**

¿De qué manera influye la incorporación del cloruro de calcio en las estabilizaciones de las subrasante en las carreteras no pavimentadas?

## **1.3. Objetivos**

### **1.3.1. Objetivo general**

Determinar la influencia del uso del cloruro de calcio para la estabilización de la subrasante en suelos arcillosos de la Carretera que inicia KM 855 de la panamericana norte hasta el proyecto de Irrigación Olmos.

### **1.3.2. Objetivos específicos**

- Determinar la influencia de cloruro de calcio para incrementar el CBR de suelos arcillosos de la de la Carretera que inicia KM 855 de la panamericana norte hasta el proyecto de Irrigación Olmos.
- Determinar la influencia del cloruro de calcio en las propiedades físicas del suelo arcilloso de la de la Carretera que inicia KM 855 de la panamericana norte hasta el proyecto de Irrigación Olmos.

## **1.4. Hipótesis**

### **1.4.1. Hipótesis general**

El uso del cloruro de calcio influye significativamente en la estabilización de la subrasante en suelos arcillosos de la Carretera que inicia KM 855 de la panamericana norte hasta el proyecto de Irrigación Olmos.

#### **1.4.2. Hipótesis Especifica**

El uso del cloruro de calcio influye en forma óptima para incrementar el CBR de suelos arcillosos de la Carretera que inicia KM 855 de la panamericana norte hasta el proyecto de Irrigación Olmos.

El uso del cloruro de calcio influye favorablemente en las propiedades físicas del suelo arcilloso de la Carretera que inicia KM 855 de la panamericana norte hasta el proyecto de Irrigación Olmos.

## CAPÍTULO II. METODOLOGÍA

### 2.1. Tipo de investigación

La investigación corresponde al tipo aplicada o tecnológica, porque será necesario la aplicación de conocimientos previos y teorías ya establecidas con respecto a la resistencia del suelo, así como sus características, por lo mismo será necesario la utilización de equipos para determinar la estabilización de los suelos.

### 2.2. Nivel de investigación

La investigación es del nivel explicativo, porque se detallan y se definen las características iniciales y finales del suelo a tratar con el aditivo químico como es el Cloruro de Calcio.

### 2.3. Método de investigación

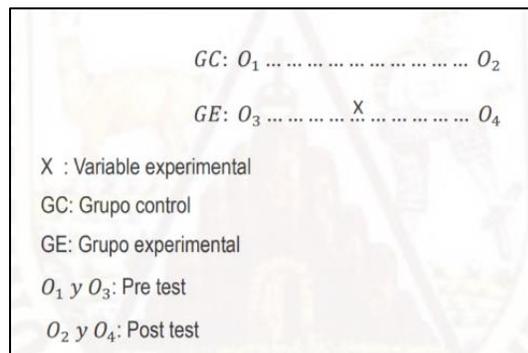
El trabajo de investigación utilizó el método científico: Inductivo – deductivo, Análisis y síntesis.

Por medio del método científico general, se estableció si el uso del cloruro de calcio influye significativamente en la estabilización de suelos.

A través del método científico específico, se realizó un análisis y un recuento de las características del suelo natural con respecto a su nivel de compactación, dicho nivel de compactación fue comparado con el nivel de compactación obtenido al incorporar el cloruro de calcio en distintas proporciones, de dichas comparaciones se obtendrá si el uso del cloruro de calcio influye significativamente en la estabilización de suelos arcillosos del área de estudio.

## 2.4. Diseño de investigación

Se utilizó el diseño experimental, como indica Santa palella y feliberto Martins (2010) “El diseño experimental es aquel según el cual el investigador manipula una variable experimental no comprobada, bajo condiciones estrictamente controladas”.



## 2.5. Población, Muestra y Muestreo

### 2.5.1 Población

La población objetivo de estudio, es la carretera que inicia km 855 de la panamericana norte hasta el proyecto de irrigación olmos, Distrito de olmos, Provincia y Departamento de Lambayeque.

## 2.6. Técnicas e Instrumentos de Recolección de datos

### 2.6.1 Técnicas

Se procedió con las siguientes técnicas para recolectar datos:

- Análisis documental: Se realizó la recopilación de datos referentes al tema de investigación, los cuales fueron revisados de forma analítica e interpretativa.
- Observación directa e indirecta: se registró los datos obtenidos de cada muestra de suelo extraída, como es; análisis granulométrico, contenido de humedad natural, densidad máxima seca, contenido óptimo de humedad, CBR.
- Se siguió las técnicas indicadas por la ASTM – American Society for testing and materials (Sociedad Americana de Prueba y Materiales).

El procedimiento de recolección de datos en laboratorio se dio mediante los siguientes ensayos:

#### 2.6.1.1 Determinación del contenido de humedad (ASTM D 4944, AASHTO T217)

Equipo necesario:

- Recipientes para humedad (aluminio o latón)
- Horno con control de temperatura
- Balanza de tres escalas con una sensibilidad de 0.01 gr.

Procedimiento de ensayo:

1. Pesar una capsula o recipiente de aluminio o latón incluyendo su tapa identificar y revisar adecuadamente el recipiente.
2. Colocar una muestra representativa de suelo húmedo en la capsula y determinar el peso del recipiente más del suelo húmedo. Si el peso se determina inmediatamente, no es necesario colocar la tapa si se presenta una demora de 3 a 5 minutos o más, coloque la tapa del recipiente para mantener la humedad en la vecindad del recipiente.

3. Después de pesar la muestra húmeda más el recipiente, remueva la tapa y coloque la muestra en el horno.
4. Cuando la muestra se hay secado hasta mostrar un peso constante (mientras haya agua presente para evaporar, el peso continuara disminuyendo en cada determinación que hagamos en la balanza), se determina el peso recipiente más del suelo seco asegurándose de usar la misma balanza para todas las mediciones de peso.
5. Se calcula el contenido de humedad “W” que es la diferencia entre el peso del suelo húmedo más el del recipiente que es el peso del agua  $W_w$  que estaba presente en la muestra. La diferencia entre el peso del suelo más el recipiente y el peso del recipiente solo es el peso del suelo seco  $W_s$ .

$$W = \left( \frac{W_w - W_s}{W_s} \right) * 100$$

#### 2.6.1.2 Análisis Granulométrico (ASTM-D422, AASHTO T217)

Equipo necesario:

- Horno con control de temperatura
- Balanza de 16 a 20 Kg.
- Balanza de 2310 gr con sensibilidad de 0.1 gr.
- Balanza de 311 gr con sensibilidad de 0.1 gr.
- Juego de tamices • Bandejas de aluminio o cazoleta.

Procedimiento de ensayo:

1. Se seca la muestra representativa en horno durante 24 horas
2. Se esa la muestra después de enfriarla y se registra el peso con aproximación de gramos.
3. Se lleva la muestra al juego de tamices (4”, 3 ½”, 3”, 2 ½”, 2”, 1 ½”, 1”, 3/4”, 3/8”, N°4, N°10, N°40 y N°200) y se sacude el conjunto vigorosamente con un movimiento rotatorio horizontal pesando lo retenido en cada una de las mallas con una aproximación de 05 gr.
4. Obténgase 1000 gr. Del agregado fino que pasa el tamiz N°4 mediante cuarteo.

5. Colocar la muestra sobre el tamiz N° 200 y lavar cuidadosamente el material a través del tamiz utilizando agua común hasta cuando el agua que pasa a través del tamiz mantenga su transparencia. Este método asegura que mu poco polvo se adhiera a las partículas mayores y que los gramos de material fino ablandados por el agua, se desbaraten y permitan que las partículas de arcilla pasen a través del tamiz y luego del secado las partículas aisladas permanezcan separadas.
6. Verter cuidadosamente el residuo, con ayuda de agua en un recipiente de secado y permitirle sedimentar por un periodo de tiempo suficiente hasta lograr que el agua en la parte superficial de la suspensión de vuelva transparente. Botar tanto como se pueda de esta agua trasparente y colocar el recipiente con la suspensión suelos y agua en el horno para recado.
7. Al día siguiente pesar el residuo secado al horno. La diferencia en peso entre la muestra original secada a la estufa y la muestra lavada (también secada a la estufa), se añade al peso del material retenido en la cazoleta para determinar el peso del suelo que pasa por el tamiz N° 200.
8. Llevar la muestra al juego de tamices (N°8, 10, 16, 20, 30, 40, 50, 80, 100 y 200) (ASTM-D422, AASTHO T193) con la cazoleta o fondo en la parte baja. Se coloca la tapa en la parte alta y se sacude el conjunto vigorosamente con un movimiento rotatorio horizontal; se pesa lo retirado en cada una de las mallas con una aproximación de 0.01 gr.
9. Conociéndose los pesos retenidos en cada una de las mallas se obtiene los porcentajes retenidos parcial y acumulativo, así como los parciales que pasan.
10. Trazamos luego la cura granulométrica que es una curva de distribución según el tamaño de los granos en un gráfico a escala semilogaritmica donde las abscisas son la abertura de las mallas y las ordenadas son los porcentajes de material que pasan por dicha malla.
11. Dibujando la curva granulométrica resultante se procede a determinar su diámetro efectivo (D10), su coeficiente de cobertura (Cc) y su coeficiente de uniformidad (Cu).

### 2.6.1.3 Límites de Atterberg

#### a) Límite Líquido ASTM-D423

Equipo necesario:

- Aparato CASA GRANDE, que consta de; una cuchara con superficie circular y un acanalador que sirve para hacer una hendidura en el material.
- Tazón para depositar y mezclar el material a ensayar.
- Tara para determinar el contenido de humedad
- Espátula de acero inoxidable, con hojas de aproximadamente 80x200mm. Para mezclar el material con agua.
- Balanza con sensibilidad de 0.01 gr.
- Horno de temperatura de 110 °C.

Procedimiento de ensayo:

1. Se coloca la muestra representativa en horno durante 24 horas.
2. Se pesa la muestra después de enfriarla y se registra el peso con aproximación de gramos.
3. Se seca la muestra al aire y se tamiza utilizando la malla N° 40, se mezcla y se toma 100 gr. Del material mezclado que ha pasado por dicho tamiz.
4. La calibración del aparato debe aprobarse a menudo ajustándolo si no está exacto. Se considerará calibrarlo cuando la cuchara al estar en su máxima elevación, en el punto donde golpea la base, tenga una distancia de un centímetro de la misma.
5. Se coloca la muestra en el tazón y se mezcla con unos 15 a 20 cm<sup>3</sup> de agua amasando y mezclando. Se va incorporando agua hasta conseguir una consistencia tal que mediante el procedimiento indicado cierre la ranura unos 13 mm, al cabo de 15 a 35 golpes.
6. Se coloca en la cuchara de bronce una porción de muestra la cual se extiende con la espátula, se nivela para obtener la profundidad de un 1 cm, en el punto de espesor máximo regresando el exceso del suelo al recipiente.

7. Utilizando el acanalador, se divide la muestra contenida en la cuchara de bronce, haciendo ranura a lo largo de diámetro y a través de la línea central de la muestra del suelo.
8. Se gira la manivela a razón de dos vueltas por segundo y se anotan los golpes necesarios para que las paredes de la ranura se unan en el fondo del mismo en una distancia de 13 mm aproximadamente.
9. Por medio de la espátula, se toma aproximadamente 15 gr. Del suelo próximo a las paredes de la ranura donde se cerró. Se coloca en un recipiente y se lleva al horno a una temperatura de 110 °C hasta obtener peso constante. Una vez enfriada la muestra se vuelve a pesar para obtener la humedad del suelo.
10. Se transfiere el suelo sobrante en la cuchara, se lava y se seca, y se vuelve a hacer el mismo ensayo adicionándole un poco de agua. Por lo menos hacer dos determinaciones adicionales.
11. Luego en un gráfico de papel semilogaritmico se coloca el contenido de humedad como ordenada y en la escala aritmética el número de golpes con abscisa en la escala logarítmica. La línea de fluidez es la recta que promedia los tres o más puntos obtenidos en el ensayo. Se toma como LL el contenido de humedad correspondiente a la intersección de la curva de flujo con la ordenada de 25 golpes.

Para determinar el Limite Liquido de un suelo arenoso se usa una espátula especial para que la arena no se separe de la cuchara del Casagrande al momento de hacer la hendidura, debido a que no pase material gigante y después en forma muy cuidadosa se concluye con el acanalado. Como es muy difícil conseguir puntos de 25 golpes, el Limite Liquido de este tipo de suelo se determina con el método de 1 punto, siendo L.L:

$$L. L = W (N / 25) ^{0.121}$$

Donde:

N: Es el número de golpes que se procura este lo más próximo a 25

W: Es el contenido de humedad de la muestra.

(N/25)<sup>0.121</sup>: Se puede determinar para distintos números de golpes y simplemente se multiplica este factor por el contenido de humedad de la muestra. Este factor en la Tabla N° 3.

N° de golpes	(N/25) <sup>0.121</sup>
20	0.9734
21	0.9792
22	0.9847
2	0.9900
24	0.9951
25	1.000
26	1.0048
27	1.0094
28	1.0138
29	1.0182
30	1.0223

Fuente: ASTM-D423.

#### b) Limite Plástico ASTM-D424

Equipo necesario:

- Tazón para depositar y mezclar el material a ensayar.
- Balanza con sensibilidad de 0.01 gr.
- Horno de temperatura de 110 °C.
- Placa de vidrio u otra superficie lisa no absorbente
- Tara para determinar el contenido de humedad
- Espátula de acero inoxidable, con hojas de aproximadamente 80x200mm.

Para mezclar el material con agua.

Procedimiento de ensayo:

1. Se toma aproximadamente 15 gr de la porción completamente mezclada, con material que pasa el tamiz N° 40. El suelo seco se coloca en la capsula de porcelana

se mezcla con agua destilada hasta que la mezcla se vuelva plástica y uniforme; para formar fácilmente una bola de la cual se toma 8 gr. Que se hace rodar entre los dedos y la placa de vidrio con una presión suficiente como para darle forma de un hilo de diámetro uniforme a través de toda su longitud.

2. Cuando al hacerlo rodar, muestra pequeñas fisuras en un diámetro de 3.2 mm. Se reúne el pedazo y se colocan en un recipiente tapado (M3), se pesa el recipiente con el suelo húmedo (M1) y se anota el valor.

3. Seguidamente se seca el suelo en un horno a una temperatura de 110° y luego se pesa (M2) la pérdida de agua se registra como peso de agua.

4. Se calcula el limite plástico (Wp), expresado como el contenido de agua (%) del peso del suelo seco al horno.

$$Wp = \frac{W_{agua}}{W_{sueloalhorno}} * 100\%$$

$$Wp = \frac{M_1 - M_2}{M_2 - M_3} * 100\%$$

Donde:

M1: Recipiente + suelo húmedo

M2: Recipiente + suelo seco

M3: Recipiente

### c) Limite de plasticidad

Procedimiento de ensayo:

Se realiza mediante la siguiente formula: I.P = L.L. – L.P.

Donde:

I.P: Índice de plasticidad

L.L: Limite Líquido

L.P: Limite Plástico

#### **d) Limite de plasticidad**

Procedimiento de ensayo:

Cuando el contenido de humedad pasa por debajo de los límites de contracción el suelo cambia de color tornándose más claro. El límite de contracción está dado por la siguiente relación.

$$Lc = ((W - (V - Vs) / Ws) * 100\%$$

Donde:

W: Contenido de Humedad de la muestra cuando se coloca en e vaso de porcelana

V: Volumen de la muestra húmeda moldeada que es igual al vaso de porcelana.

Vs: Volumen de a muestra moldeada secada al horno

Ws: Peso de la muestra moldeada secada al horno.

#### **2.6.1.4 Ensayo Proctor Modificado (ASTM-D1557)**

Equipo necesario:

- Molde de 100 cm
- Molde de 150 mm
- Pisón metálico de 50 +/- 2mm
- Probetas graduadas con capacidad de 500 cm<sup>3</sup>
- Balanza de capacidad 10 kg y una precisión de 5 gr.
- Balanza de capacidad 1 kg y una precisión de 0.01 gr.
- Estufa
- Regla de acero de 300 mm
- Horno con control de temperatura

- Tamices de 50, 20 y 5 mm de abertura Procedimiento de ensayo: Se especifican tres procedimientos alternativos:

**a) Procedimiento A**

1. En molde de 101.6 mm de diámetro se coloca el material que pasa la malla N° 4, se realizan 3 capas de 25 golpes por capa.
2. Se puede usar si el 20% en peso del material o menor se retiene en la malla N° 4. Si no se especifica este procedimiento y el material cumple con la granulometría anterior se debe usar el procedimiento B o C.
3. Se seca el material de la bolsa y se disgregan los grumos en una charola limpia y seca. Se agrega agua por tanteo hasta que el material pueda ser apretado con la mano y posteriormente se pueda tomar con los dedos y que no se desmorone.
4. Se apisona el material por capa, con la secuencia mostrada en el esquema. Si el material rebasa 1 cm el molde, se enrasa y se pesa el molde, más el material compactado.
5. Se saca el material del molde y se determina el contenido e agua del suelo compactado: se agrega 3% de agua para determinar el siguiente punto.
6. Se grafican los resultados en la curva peso volumétrico seco vs contenido de agua; y se calcula la gráfica la línea de saturación teórica.

**b) Procedimiento B**

1. En molde de 101.6 mm de diámetro se coloca el material que pasa la malla N° 3/8” (4.75 mm) y, se realizan 3 capas de 25 golpes por capa.
2. Se debe usar si más del 20% en peso del material se retiene en la malla N° 4 (4.75 mm) y el 20% en peso del material o menor se retiene en la malla 3/8” (9.5 mm). Si no se especifica este procedimiento y el material cumple con la granulometría anterior se debe usar el procedimiento C.

3. Se seca el material de la bolsa y se disgregan los grumos en una charola limpia y seca. Se agrega agua por tanteo hasta que el material pueda ser apretado con la mano y posteriormente se pueda tomar con los dedos y que no se desmorone.
4. Se apisona el material por capa, con la secuencia mostrada en el esquema. Si el material rebasa 1 cm el molde, se enrasa y se pesa el molde, más el material compactado.
5. Se saca el material del molde y se determina el contenido e agua del suelo compactado: se agrega 3% de agua para determinar el siguiente punto.
6. Se grafican los resultados en la curva peso volumétrico seco vs contenido de agua; y se calcula la gráfica la línea de saturación teórica.

### **c) Procedimiento C**

1. En molde de 152.4 mm de diámetro se coloca el material que pasa la malla N° 3/4” (19.0 mm) y, se realizan 5 capas de 56 golpes por capa.
2. Se debe usar si más del 20% en peso del material se retiene en la malla 3/8” (9.5 mm) y menos del 30% en peso del material se retiene en la malla 3/4” (19.0 mm). Este molde de 6” (152.4 mm) de diámetro no se debe usar con los procedimientos A y B.
3. ff Se seca el material de la bolsa y se disgregan los grumos en una charola limpia y seca. Se agrega agua por tanteo hasta que el material pueda ser apretado con la mano y posteriormente se pueda tomar con los dedos y que no se desmorone.
4. Se apisona el material por capa, con la secuencia mostrada en el esquema. Si el material rebasa 1 cm el molde, se enrasa y se pesa el molde, más el material compactado.
5. Se saca el material del molde y se determina el contenido e agua del suelo compactado: se agrega 3% de agua para determinar el siguiente punto. 6. Se grafican los resultados en la curva peso volumétrico seco vs contenido de agua; y se calcula la gráfica la línea de saturación teórica.

6. Se grafican los resultados en la curva peso volumétrico seco vs contenido de agua; y se calcula la gráfica la línea de saturación teórica.

### **2.6.1.5 Ensayo de CBR (ASTM-D1883, AASHTO T193)**

Equipo necesario:

- Un molde de  $D=101.6$  mm y volumen de  $9036.6$  cm<sup>3</sup>. Este molde va unido a una placa y una extensión en la parte superior.
- Pisón mecánico
- Bandeja
- Taras
- Balanza de disco
- Disco espaciador
- Papel filtro
- Pistón de penetración
- Aparato para medir la expansión
- Peso de sobre cara
- Martillo de compactación
- Máquina de compresión equipada con un pistón de penetración CBR (California Bearing Ratio) capaz de penetrar a una  $V = 1.27$  mm/min.

Procedimiento de ensayo:

1. Determinación de la densidad y humedad mediante el ensayo Proctor. Determinación de la densidad y humedad mediante el ensayo Proctor.
2. Mezcla de suelo y agua para llegar al óptimo contenido de humedad.
3. Compactación de la muestra de suelo en 5 capas con diferentes números de golpes (10, 25 y 56 golpes).
4. Muestra lista para la saturación, la saturación de la muestra e instalación del deformímetro para el registro de posibles expansiones. La muestra se saturará durante 96 horas.

5. Después de la saturación se extrae la muestra y se deja escurrir por 15 minutos, para ser llevado al equipo CBR. El cual contiene un anillo para medir el esfuerzo de penetración, así como del dial para controlar la velocidad y la penetración del pistón.

### **2.6.2 Instrumentos**

Los instrumentos que se usaron en la investigación para la recolección de datos fueron los siguientes:

- Balanza calibrada.
- Horno.
- Máquina de compresión equipada con un pistón de penetración CBR (California Bearing Ratio) capaz de penetrar a una  $V = 1.27$  mm/min.
- cuaderno de datos.
- Fichas técnicas de observación y control de laboratorio.
- Fichas de ensayos.

### **2.6.3 Procedimiento de Recolección de datos**

- La recolección de datos se realizó con la secuencia de los siguientes procedimientos:
- Elaboración de un plan de trabajo de laboratorio.
- Disposición de herramientas.
- Solicitud a las autoridades correspondientes del área de estudio, para la extracción de las muestras de suelos.
- Ubicación e identificación de las calicatas de las cuales se extrajo las muestras de suelos.
- Extracción de las muestras de suelos.
- Disposición de equipos y herramientas para realizar los ensayos físicos de las muestras de suelos (Contenido de humedad natural, Análisis Granulométrico, Límites de Atterberg).
- Disposición de equipos y herramientas para realizar los ensayos de Proctor Modificado.

- Disposición de equipos y herramientas para realizar los ensayos de CBR de las muestras de suelos.
- Ensayos de CBR con distintos porcentajes de Cloruro de Calcio.

## **2.7. Técnicas de procesamiento y análisis de datos**

### **2.7.1 Estadísticos Inferenciales**

El proceso de verificación de la hipótesis planteada, se realizará a través del Análisis de Varianza, uso de la ANOVA (ANalysis Of VAriance), la cual conlleva a la realización de pruebas de significación estadística, usando la denominada distribución “F” de Fisher, asimismo se realizará la prueba de comparación múltiple Tukey HSD (Diferencia Honestamente Significativa). Para determinar la varianza significativa entre los datos recolectados con un 5% de nivel de significancia.

### **2.7.2 Estadísticos Descriptivos**

El procesamiento de datos se realizará mediante la organización, presentación y descripción del conjunto de datos obtenidos durante la ejecución de la investigación, con el propósito de facilitar su uso, mediante el apoyo de tablas, medidas numéricas o gráficas.

### **2.7.3 Presentación de datos**

La presentación de datos se realizará de la siguiente manera:

- Cuadros para visualizar la influencia de la variable independiente sobre la dependiente de acuerdo a la estadística inferencial.
- Estadística descriptiva para cada variable.
- Tablas y gráficos interpretados estadísticamente que permitan visualizar los datos de la investigación.

## CAPÍTULO III. TRABAJO Y RESULTADOS

### 3.1 Presentación de los resultados

En el presente trabajo de investigación se utilizó el estudio experimental la cual está compuesta por 3 etapas para la presentación de los resultados.

1° Etapa:

Caracterización de suelos a estabilizar, ensayos de: Contenido de humedad natural, Límites de Atterberg, Análisis Granulométrico, Ensayo de Proctor Modificado, Valor de soporte Modificado.

2° Etapa:

Determinación del contenido óptimo de cloruro de calcio y valor de soporte california CBR, con la incorporación de 2%, 4%, 5%, 6% y 8% de cloruro de calcio respecto al peso de la muestra de ensayo del CBR.

3° Etapa:

Determinación de la influencia significativa del uso del cloruro de calcio y valor de soporte california CBR, con la incorporación de 2%, 4%, 5%, 6% y 8% de cloruro de calcio respecto al peso de la muestra de ensayo del CBR, en la calicata N°02 (Suelos arcillosos) y el uso del 5% de  $\text{CaCl}_2$  en las calicatas N°01 y N°03.

4° Etapa:

Determinación de la incidencia del uso del cloruro de calcio en los límites Líquidos, con la incorporación del 5% de cloruro de calcio.

## CAPÍTULO IV. MATRIZ DE CONSISTENCIA

PROBLEMA	OBJETIVO	HIPOTESIS	VARIABLES	METODOLOGIA
<p><b>Problema general:</b> ¿Cuál será la influencia del cloruro de calcio para la estabilización de la subrasante de la Carretera que inicia en la Pan.Norte km 855 hasta el proyecto de Irrigacion Olmos?</p>	<p><b>Objetivo general:</b> Determinar la influencia del uso del cloruro de calcio para la estabilización de la subrasante de la Carretera que inicia en la Pan.Norte km 855 hasta el proyecto de Irrigacion Olmos.</p>	<p><b>Hipótesis general:</b> El uso del cloruro de calcio influye significativamente en la estabilización de la subrasantede la Carretera que inicia en la Pan.Norte km 855 hasta el proyecto de Irrigacion Olmos.</p>	<p>Identificación de variables: <b>a. Variable independiente:</b> Cloruro de calcio <b>Dimensiones</b> 1. Porcentaje óptimo de cloruro de calcio</p>	<p><b>Tipo de investigación:</b> Aplicada <b>Nivel de investigación:</b> Explicativo <b>Diseño de investigación:</b> Experimental Dónde: (X) Características del físicas del suelo G.E. Grupo Experimental G.C. Grupo de Control O1 y O3 Pre Test O2 y O4 Post Test</p> <p style="text-align: center;"><i>GC: 0<sub>3</sub>                      0<sub>4</sub></i> <i>GE: 0<sub>1</sub>                      X      0<sub>2</sub></i></p>
<p><b>Problemas específicos:</b> ¿Cuál será la influencia del cloruro de calcio para incrementar el CBR de suelos de la Carretera que inicia en la Pan.Norte km 855 hasta el proyecto de Irrigacion Olmos?</p>	<p><b>Objetivos específicos:</b> Determinar la influencia de cloruro de calcio para incrementar el CBR de de suelos de la Carretera que inicia en la Pan.Norte km 855 hasta el proyecto de Irrigacion Olmos.</p>	<p><b>Hipótesis específica:</b> a. El uso del cloruro de calcio influye en forma óptima para incrementar el CBR de suelos de la subrasantede la Carretera que inicia en la Pan.Norte km 855 hasta el proyecto de Irrigacion Olmos. b. El uso del cloruro de calcio influye favorablemente en las propiedades físicas del suelo de la subrasantede la Carretera que inicia en la Pan.Norte km 855 hasta el proyecto de Irrigacion Olmos.</p>	<p><b>b. Variable dependiente:</b> Estabilización de la subrasante <b>Dimensiones:</b> 1. CBR 2. Propiedades físicas del suelo</p>	<p><b>Población y muestra:</b> Población: Carretera Km855 Muestra: 3 calicatas <b>Técnicas e instrumentos:</b> - Observaciones: Ficha de observación directa del tipo de suelo. - Medidas físicas: Estudios de Mecánica de suelos y análisis granulométricos <b>Técnica de procesamiento de datos</b> - Clasificación de suelos - Análisis Granulométrico - Proctor Modificado - Estadística descriptiva</p>
<p>¿Cuál será la influencia del cloruro de calcio en las propiedades físicas del suelo de la Carretera que inicia en la Pan.Norte km 855 hasta el proyecto de Irrigacion Olmos?</p>	<p>Determinar la influencia del cloruro de calcio en las propiedades físicas del suelo de la Carretera que inicia en la Pan.Norte km 855 hasta el proyecto de Irrigacion Olmos.</p>	<p>la subrasantede la Carretera que inicia en la Pan.Norte km 855 hasta el proyecto de Irrigacion Olmos.</p>		

## CAPÍTULO V. BIBLIOGRAFIA

- ASTM - D4944. Método De Ensayo Para Determinar El Contenido De Humedad De Un Suelo.
- ASTM - D423. Método De Análisis Del Tamaño De Las Partículas De Suelo.
- ASTM - D423. Método de Determinación de límite líquido.
- ASTM - D424. Método de Determinación de Límite Plástico.
- ASTM - D4318. Método de Determinación de Índice Plástico
- ASTM - D3282. Standard Practice for Classification of Soils and Soil-Aggregate Mixtures for Highway Construction Purposes
- ASTM - D2487. Standard Practice for Classification of Soils for Engineering Purposes (Unified Soil Classification System)
- ASTM - D1557. Ensayo De Proctor Modificado
- ASTM - D1883. Standard Test Method for California Bearing Ratio (CBR) of Laboratory-Compacted Soils
- Ministerio de Transporte y Comunicaciones. (2008). “Manual para el diseño de carreteras no pavimentadas de bajo volumen de tránsito”. Lima, Perú.
- Reglamento Nacional de Edificaciones. (2010). NORMA CE.010. Pavimentos Urbanos, Lima, Perú.
- Manual de Carreteras. (2013). Especificaciones Técnicas Generales Para Construcción EG-2013. Lima, Perú.
- Braja M. Das. (2001). “Fundamentos De Ingeniería Geotécnica”. México. Editorial THOMSON INTERNATIONAL.
- Mathew M. Cusak. (1994). “Fundamentos de mecánica de suelos”. México. Editorial CONTINENTAL. 127

- Correa M. (2000). “Mecánica de suelos aplicada a cimentaciones superficiales”. Perú. Editorial EDUNI.
- Gutiérrez C. (2010). “Estabilización Química De Carreteras No Pavimentadas En El Perú Y Ventajas Comparativas Del Cloruro De Magnesio (Bischofita) Frente Al Cloruro De Calcio”. Universidad Ricardo Palma, Lima, Perú.
- Huevo H. y Orellana A. (2009). “Guía básica para estabilización de suelos Con cal en caminos de baja intensidad Vehicular en el salvador”, San Salvador, El Salvador.
- Velarde A. (2015). “Aplicación De La Metodología De Superficie De Respuesta En La Determinación De La Resistencia A La Compresión Simple De Suelos Arcillosos Estabilizados Con Cal Y Cemento”, Universidad Nacional de Altiplano, Puno, Perú.
- Rico A. y Del Castillo H. (2003). “La ingeniería de suelos en las vías terrestres: carreteras, ferrocarriles y aeropistas vol. 1 y 2”. México. Editorial LIMUSA
- Mateos M. (1998). “Efectos del cloruro cálcico en la estabilidad de las tierras”. 44-48.
- Galindo J. y Avellaneda E. (2016). “Análisis Técnico Del Uso De Silicato De Sodio Para Estabilización Química De Suelos”. Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Bogotá, Colombia.
- Martínez J. (2012). “Evaluación del mejoramiento de suelos arcillosos empleando materiales cementantes”. Universidad Veracruzana, Veracruz, México.
- Solminihaç H. y Echeverría G. (2009). “Estabilización Química de Suelos: Aplicaciones en la construcción de estructuras de pavimentos”, Santiago de Chile, Chile.
- Beltrán M. y Copado J. (2011). “Estabilización de un suelo arcilloso con cal hidratada, para ser utilizada como capa subrasante de pavimentos en la colonia San Juan Capistrano de Ciudad Obregón, Son”, Instituto Tecnológico de Sonora, Obregón, Son., México.