



UNIVERSIDAD
PRIVADA
DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

“INFLUENCIA DE LA INCORPORACIÓN DE CUATRO NIVELES (1 %, 2%, 3% y 4%) DE CLORURO DE CALCIO EN LA RESISTENCIA MECÁNICA DE UN MATERIAL PARA AFIRMADO”

Tesis para optar el título profesional de:

Ingeniero Civil

Autores:

Cristhian Rafael Rivera León

María de Lourdes Medina Sánchez

Asesor:

Ing. Cubas Becerra, Alejandro

Cajamarca – Perú

2016

APROBACIÓN DE LA TESIS

El asesor y los miembros del jurado evaluador asignados, **APRUEBAN** la tesis desarrollada por los Bachilleres **Cristhian Rafael Rivera León** y **María de Lourdes Medina Sánchez** denominada:

“INFLUENCIA DE LA INCORPORACIÓN DE CUATRO NIVELES (1%, 2%, 3% y 4%) DE CLORURO DE CALCIO EN LA RESISTENCIA MECÁNICA DE UN MATERIAL PARA AFIRMADO”

Ing. Alejandro Cubas Becerra
ASESOR

Dr. Ing. Orlando Aguilar Aliaga
JURADO
PRESIDENTE

Ing. Anita Alva Sarmiento
JURADO

Ing. Roger Cerquín Quispe
JURADO

DEDICATORIA

Para Dios por la salud y la fuerza que me brindo en los buenos y malos momentos. Para mis padres y hermana por darme la oportunidad de cumplir mis sueños.

Para Dios, ya que es mi inspiración y mi fuerza para ser mejor cada día. Para mi madre, por ser el pilar más importante, por demostrarme su cariño y apoyo incondicional.

Agradezco también la confianza y el apoyo brindado por parte de mi familia.

A mis profesores por la enseñanza transmitida en todo el tiempo de estudios que han sido de gran ayuda para nuestra formación como profesionales.

AGRADECIMIENTO

Doy las gracias a Dios por los buenos y malos momentos, por haberme dado fuerza y salud para poder lograr mis metas.

Doy las gracias a mis padres por todo su apoyo durante este tiempo, a mi hermana por sus consejos y enseñanzas, sin ellos esto no hubiera sido posible.

Agradecer a Dios por la vida, a mis madres y familia quienes a lo largo de toda mi vida han apoyado y motivado mi formación académica, creyeron en mí en todo momento y no dudaron de mis habilidades. A mi novio por la ayuda brindada lo cual fue sumamente muy importante en esta etapa.

Damos las gracias a nuestro asesor por su orientación y enseñanza durante esta investigación

ÍNDICE DE CONTENIDOS

APROBACIÓN DE LA TESIS	ii
DEDICATORIA.....	iii
AGRADECIMIENTO.....	iv
ÍNDICE DE CONTENIDOS.....	v
ÍNDICE DE TABLAS	viii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	ix
ÍNDICE DE FOTOS	x
RESUMEN.....	xi
ABSTRACT	xii
CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN	13
1.1. Realidad problemática.....	13
1.1.1. Sección transversal inadecuada	15
1.1.2. Corrugaciones	15
1.1.3. Ahuellamiento.....	16
1.1.4. Pérdida de agregados.....	16
1.1.5. Baches.....	17
1.2. Formulación del problema	18
1.3. Justificación.....	18
1.4. Objetivos	19
1.4.1. Objetivo General.....	19
1.4.2. Objetivos Específicos.....	19
CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO	20
2.1. Antecedentes	20
2.2. Bases Teóricas.....	22
2.2.1. Suelo y su clasificación	22
2.2.2. Afirmado	26
2.2.3. Cloruro de calcio	29
2.2.4. Ensayos de laboratorio	31
2.3. Definición de términos básicos	45

CAPÍTULO 3. HIPÓTESIS.....	47
3.1. Formulación de la hipótesis.....	47
3.2. Variables	47
3.3. Operacionalización de variables.....	47
CAPÍTULO 4. MATERIAL Y MÉTODOS.....	48
4.1. Tipo de diseño de investigación	48
4.2. Material.	48
4.2.1. Unidad de estudio.....	48
4.2.2. Población.....	48
4.2.3. Muestra.....	48
4.3. Métodos.	48
4.3.1. Técnicas de recolección de datos y análisis de datos	48
4.3.2. Procedimientos	51
CAPÍTULO 5. DESARROLLO.....	53
5.1. Adquisición del material para afirmado.....	53
5.1.1. Ubicación de la cantera El Gavilán	54
5.2. Adquisición del cloruro de calcio	54
5.3. Ensayos	54
5.3.1. Análisis granulométrico.....	55
5.3.2. Determinación del límite plástico e índice de plasticidad.....	56
5.3.3. Abrasión Los Ángeles	56
5.3.4. Compactación del suelo en laboratorio usando la energía modificada	57
5.3.5. CBR de suelos.....	57
CAPÍTULO 6. RESULTADOS	59
6.1. Ensayo granulométrico del afirmado de la cantera El Gavilán.....	59
6.2. Ensayo granulométrico de la arena gruesa de la cantera El Gavilán.....	60
6.3. Ensayo granulométrico del afirmado (huso granulométrico D) de la cantera El Gavilán.....	61
6.4. Ensayo de límites de Atterberg.....	62
6.5. Ensayo de Abrasión Los Ángeles.....	63
6.6. Ensayo de compactación usando la energía modificada del afirmado de la cantera El Gavilán.....	64
6.7. Ensayo de CBR del afirmado de la cantera El Gavilán.....	65

6.8. Ensayo de compactación usando la energía modificada del afirmado de la cantera El Gavilán + 1% CaCl	68
6.9. Ensayo de CBR del afirmado de la cantera El Gavilán + 1% CaCl	69
6.10. Ensayo de compactación usando la energía modificada del afirmado de la cantera El Gavilán + 2% CaCl	72
6.11. Ensayo de CBR del afirmado de la cantera El Gavilán + 2% CaCl	73
6.12. Ensayo de compactación usando la energía modificada del afirmado de la cantera El Gavilán + 3% CaCl	76
6.13. Ensayo de CBR del afirmado de la cantera El Gavilán + 3% CaCl	77
6.14. Ensayo de compactación usando la energía modificada del afirmado de la cantera El Gavilán + 4% CaCl	80
6.15. Ensayo de CBR del afirmado de la cantera El Gavilán + 4% CaCl	81
6.16. Resumen de resultados.....	84
CAPÍTULO 7. DISCUSIÓN.....	86
7.1. Compactación del suelo en laboratorio usando la energía modificada	86
7.2. California Bearing Ratio (CBR).....	86
CONCLUSIONES.....	88
RECOMENDACIONES.....	89
REFERENCIAS	90
ANEXOS	91
Anexo 1. Panel fotográfico	92
Anexo 2. Fichas de recolección de datos ensayos Afirmado	97
Anexo 3. Fichas de recolección de datos ensayos Afirmado + 1% CaCl	106
Anexo 4. Fichas de recolección de datos ensayos Afirmado + 2% CaCl	110
Anexo 5. Fichas de recolección de datos ensayos Afirmado + 3% CaCl	114
Anexo 6. Fichas de recolección de datos ensayos Afirmado + 4% CaCl	118
Anexo 7. Fichas de seguridad del cloruro de calcio.....	122

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Símbolos Clasificación SUCS.....	23
Tabla 2. Clasificación de suelos SUCS	23
Tabla 3. Clasificación de suelos AASHTO.....	25
Tabla 4. Ensayos de Material para afirmado	27
Tabla 5. Granulometría del suelo aceptable para la estabilización con Cloruro de Calcio.....	28
Tabla 6. Carga abrasiva y granulometría para Abrasión de Los Ángeles.....	38
Tabla 7. Peso y granulometría de la muestra para ensayo	38
Tabla 8. Lecturas del CBR.....	42
Tabla 9. Operacionalización de variables	47
Tabla 10. Recolección de datos material sin estabilizar.....	48
Tabla 11. Recolección de datos material estabilizado	50

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Sección transversal inadecuada.....	15
Figura 2. Corrugaciones.....	15
Figura 3. Ahuellamiento	16
Figura 4. Pérdida de agregados.....	17
Figura 5. Baches.....	17

ÍNDICE DE FOTOS

Foto 1. Carretera afirmada deteriorada	14
Foto 2. Adquisición del material para afirmado de la cantera El Gavilán	53
Foto 3. Georreferenciación de la cantera El Gavilán.	54
Foto 4. Tamizado del material.	55
Foto 5. Determinación del límite plástico e índice de plasticidad	56
Foto 6. Ensayo de Abrasión Los Ángeles.....	56
Foto 7. Compactación del suelo usando la energía modificada.....	57
Foto 8. Ensayo de penetración.....	57
Foto 9. Pesando material para ensayo granulométrico.....	93
Foto 10. Cuarteo para ensayo granulométrico.....	93
Foto 11. Pesando tara para ensayo de límites de atterberg.	94
Foto 12. Preparación de muestra para ensayo de compactación.	94
Foto 13. Ensayo de compactación.	95
Foto 14. Moldes sumergidos para ensayo de CBR.	95
Foto 15. Ensayo de CBR.....	96

RESUMEN

La presente tesis tuvo como objetivo principal determinar la influencia de la incorporación de cada uno de los niveles de cloruro de calcio en la resistencia mecánica de un material para afirmado. En el Perú la red vial vecinal está conformada por las vías que enlazan a las capitales distritales y centros poblados importantes con la capital de la provincial; solo el 2.5% de estas vías tienen la condición de asfaltadas, el 97.5% están afirmadas, sin afirmar o en condición de trocha y solo el 7.3% está en buen estado. El mal estado de conservación de la red vial vecinal se ve acabada por la incidencia de la topografía accidentada de nuestro territorio especialmente en la región de la sierra, que es afectada por factores climáticos es por eso que el mejorar las características del material de afirmado sería una gran solución para tener en mejor estado las vías no pavimentadas. El desarrollo de la presente investigación es de la siguiente manera; se estudió el material de la cantera El Gavilán (Cajamarca, Perú) para determinar sus propiedades físicas y mecánicas dentro de ellas abrasión, granulometría, límites de Atterberg, compactación y CBR para luego determinar cómo es que la incorporación del cloruro de calcio en diferentes porcentajes (1%,2%,3% y 4%) influye en cada una de estas propiedades. Finalmente se obtuvieron resultados para un CBR al 0.1" para cada una de las adiciones (1%,2%,3% y 4%): 103%, 105%, 142%, 150% respectivamente estos resultados fueron comparados con un patrón con 0% de cloruro de calcio que tiene un CBR al 0.1" de 74%. De los resultados obtenidos se puede concluir que la incorporación del cloruro de calcio aumenta el CBR hasta en un 5% por cada 1% de adición.

ABSTRACT

The main objective of this thesis was to determine the influence of the incorporation of each levels of calcium chloride on the mechanical strength of a material to be asserted. In Peru, the local road is made up of roads linking the district capitals and important towns with the provincial capital; only 2.5% of these roads have the condition of asphalted, 97.5% are affirmed, without affirming or in condition of gauge and only 7.3% is in good condition. The poor state of conservation of the local road network is finished by the incidence of the rugged topography of our territory especially in the region of the sierra, which is affected by climatic factors that is why improving the characteristics of the material of affirmed would be a great solution to have better unpaved roads. The development of the present investigation is as follows; the material of the Gavilán quarry (Cajamarca, Peru) was studied to determine its physical and mechanical properties within them abrasion, granulometry, Atterberg limits, compaction and CBR to later determine how the incorporation of calcium chloride in different percentages (1%, 2%, 3%, 4%) influences each of these properties. Finally, results were obtained for a 0.1 "CBR for each of the additions (1%, 2%, 3%, 4%): 103%, 105%, 142%, 150% respectively, these results were compared with a standard with 0% calcium chloride having a 0.1% CBR of 74%. From the results obtained it can be concluded that the incorporation of calcium chloride increases the CBR by up to 5% for every 1% of addition.

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN

1.1. Realidad problemática

Actualmente la longitud de la red vial es de 95,863 Km. de extensión registrados, de los cuales 23,076 (24.07%) son carreteras nacionales y están bajo la competencia del Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 25,329 (26.42%) son carreteras departamentales y están a cargo de los Gobiernos Regionales y 47,458 (49.51%) son caminos vecinales, que están bajo responsabilidad de los Gobiernos Locales. Respecto al tipo de superficie de rodadura muestra que 15,496 Km. de la Red Vial se encuentran pavimentadas (16.16%) y 80,367 Km. se encuentran afirmadas o a nivel de trocha (83.84%) (MTC, 2012).

Sobre dicha infraestructura se traslada el 90% de la carga y se moviliza el 80% de los pasajeros, especialmente en los principales ejes longitudinales y transversales, los cuales actualmente presentan condiciones de asfaltado en buen estado y no así las carreteras departamentales y locales, que tienen una condición, en un gran porcentaje, de afirmadas o trochas en mal estado y que son utilizadas en la prestación del servicio provincial de carga y pasajeros (MTC, 2012).

La Red Vial Departamental (25,329 Km. de vías registradas), comprende las rutas de importancia regional que articulan las capitales de departamento con las principales ciudades al interior de Región; sólo el 7.7% se encuentran pavimentadas y el 92.3% es afirmada, sin afirmar o en condición de trocha. En cuanto a su condición, solo el 16.1% de la red departamental está en buen estado (MTC, 2012).

La Red Vial Vecinal (47,458 Km. registrados aproximadamente)¹ está conformada por las vías que enlazan a las capitales distritales y centros poblados importantes con la capital de la provincial; sólo el 2.5% de estas vías tienen la condición de asfaltadas, el 97.5% están afirmadas, sin afirmar o en condición de trocha y solo el 7.3% está en buen estado. El mal estado de conservación de la red vecinal se ve agravada por la incidencia de la topografía accidentada de nuestro territorio, especialmente en la Región de la Sierra, que es afectada por factores climáticos y la falta de mantenimiento, lo que ha dificultado el desarrollo de las zonas rurales y

¹ Adicionalmente se estima que existen 24,275 Km. de caminos vecinales no registrados.

contribuido al aislamiento de las comunidades pobres. Actualmente aún existen aproximadamente 14 capitales de distritos que carecen de accesibilidad a través de caminos carrozables, dificultando su acceso a servicios públicos y mercados (MTC, 2012).

Foto 1. Carretera afirmada deteriorada



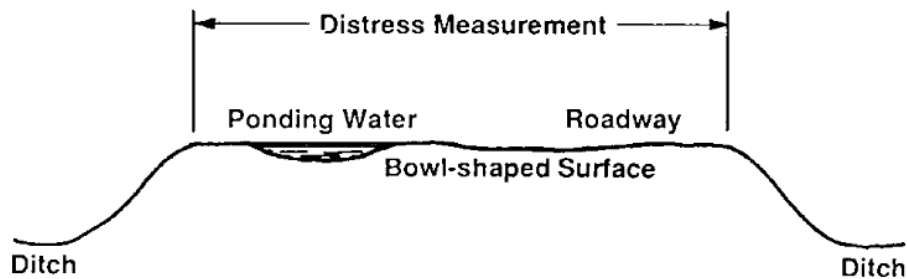
Fuente: Mejía Carrión, 2016.

El estado de las vías de comunicación es uno de los factores más importantes para el desarrollo de un país según la ONU ya que una vía en mal estado incrementa los costos de operación y mantenimiento, una de las desventajas de las vías sin pavimentar es su mecanismo de deterioro así como afirma Choque Sánchez (2010): El mecanismo de deterioro en carreteras no pavimentadas es un proceso más acelerado comparado con vías pavimentadas, esto se debe a que en condiciones secas y bajo la acción abrasiva de los neumáticos los finos llegan a pulverizarse iniciándose así un progresivo desgaste de la superficie. Un estudio publicado por Eaton & Beaucham (1992) dio como resultado que las fallas mas comunes en vías no pavimentadas son las siguientes:

1.1.1. Sección transversal inadecuada

Descripción: Deformaciones en la superficie de la carretera que no permiten el flujo de las aguas pluviales y dificultan el tránsito.

Figura 1. Sección transversal inadecuada



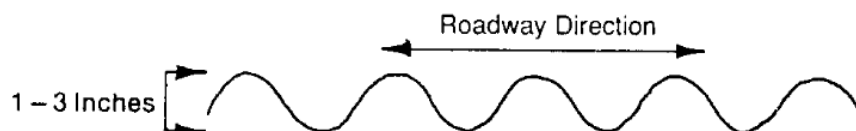
Fuente: Coronado, 2000.

Posibles causas: Están relacionadas con el asentamiento diferencial de la carretera, el movimiento de los materiales del pavimento por acción de las aguas pluviales, ausencia de drenes y cargas del tránsito (Coronado, 2000).

1.1.2. Corrugaciones

Descripción: Serie de ondulaciones constituidas por crestas y depresiones perpendiculares a la dirección del tránsito, los cuales se suceden muy próximas, unas de otras, a intervalos aproximadamente regulares, en general menores de 1 metro, a lo largo de la superficie.

Figura 2. Corrugaciones

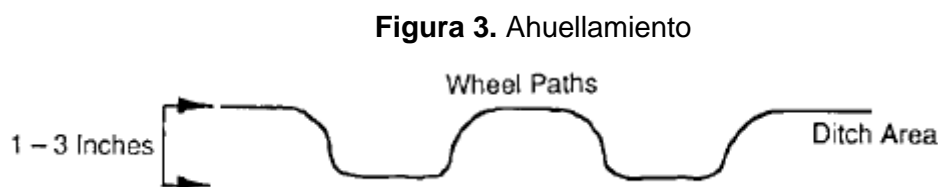


Fuente: Coronado, 2000.

Posibles causas: Este daño es usualmente causado por la acción del tránsito y la falta de cohesión del material de superficie; desarrollándose mayormente en la época seca. Los materiales que presentan baja plasticidad, escasez de finos y agregados de tamaño mayor de 5 cm son más susceptibles de desarrollar este daño (Coronado, 2000).

1.1.3. Ahuellamiento

Descripción: Es una deformación longitudinal continua a lo largo de las huellas de canalización del tránsito, de longitud mínima de 6 m. En casos extremos la sección transversal de la carretera muestra un perfil en forma de W.



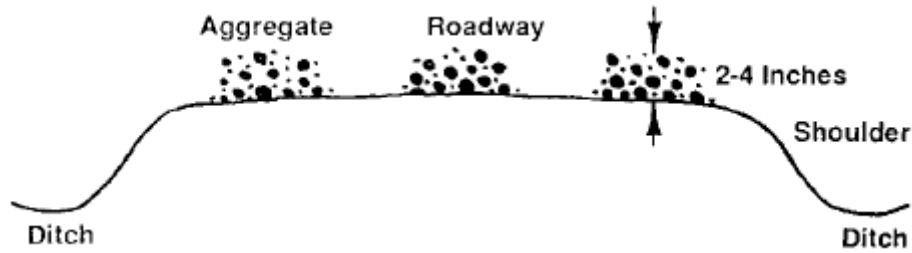
Fuente: Coronado, 2000.

Posibles causas: Es la acción de las cargas transmitidas por los neumáticos de los vehículos, así como por la frecuencia de los mismos. Las características del material de superficie y las condiciones climáticas son factores que posibilitan el desarrollo de este daño. Por ejemplo, materiales arcillosos en clima húmedo o materiales sin cohesión (arenoso) en clima seco (Coronado, 2000).

1.1.4. Pérdida de agregados

Descripción: Se refiere a la separación de los agregados de la capa de superficie, quedando dichos agregados en estado suelto y formando cordones a lo largo de la carretera.

Figura 4. Pérdida de agregados



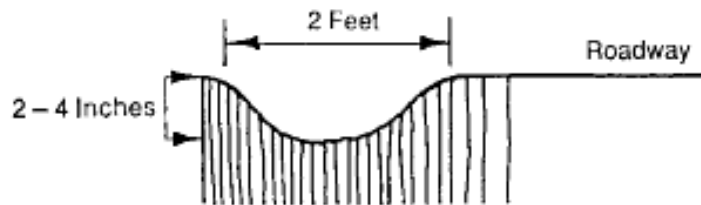
Fuente: Coronado, 2000.

Posibles causas: Principalmente se origina por acción del tránsito sobre capas de superficie carente de finos plásticos y con presencia de agregados cuyas partículas son mayores a 5 cm. El daño se desarrolla con mayor rapidez cuando las partículas carecen de angulosidad. El tránsito desplaza longitudinalmente los agregados gruesos a las orillas de las huellas de canalización o ahuellamiento (Coronado, 2000).

1.1.5. Baches

Descripción: Cavidades en la superficie de la carretera en forma de tazón, cuyo diámetro promedio usualmente es menor de 1 m.

Figura 5. Baches



Fuente: Coronado, 2000.

Posibles causas: Son muy variadas las causas que originan este daño. Se producen debido a un estado muy avanzado de otros daños, por ejemplo, las corrugaciones, ahuellamientos, etc. Y también por la combinación del tránsito, clima y características de los materiales de la rodadura, son factores que influyen en la formación de este daño. Este daño tiende a desarrollarse durante la época húmeda, durante la cual cualquier deformación en la superficie, posibilita la concentración de agua y por tanto el debilitamiento de dichas áreas (Coronado, 2000).

A lo largo del tiempo se han desarrollado diversos métodos con el fin de mejorar el comportamiento de los materiales usados para afirmado denominando a este proceso mejoramiento de los suelos el cual ha atendido a diversos requerimientos, tales como la resistencia al esfuerzo cortante, la deformabilidad o compresibilidad, la estabilidad volumétrica ante la presencia de agua, entre otros, buscando en todos los casos, un buen comportamiento esfuerzo deformación de los suelos y de la estructura que se coloque sobre ellos, a lo largo de su vida útil (Garnica, Pérez, Gómez y Obil, 2002)

1.2. Formulación del problema

¿Cómo influye la incorporación del cloruro de calcio en la resistencia mecánica del material para afirmado de la cantera “El Gavilán”?

1.3. Justificación

- Justificación teórica.

La falta de conocimiento sobre los productos estabilizadores y la eficiencia que cada uno de estos presenta tiene un impacto negativo directo sobre las obras viales, lo cual genera pérdidas económicas y malestar en los usuarios, por ello se determinara como influye el cloruro de calcio en el comportamiento mecánico del suelo como afirmado.

- Justificación aplicativa o práctica.

Este trabajo tiene como meta determinar la influencia del cloruro de calcio en el comportamiento mecánico del suelo como afirmado, lo cual es de vital importancia en carreteras no pavimentadas. La comparación mecánica de un afirmado sin cloruro de calcio con uno con cloruro de calcio sería el primer paso para solucionar el problema de cual utilizar al hacer una carretera no pavimentada y que sea más eficaz tanto en su comportamiento estructural como en el costo de cada una de ellas, esto sería un aporte al conocimiento de futuras obras de pavimentaciones en la ciudad de Cajamarca.

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo General

Determinar la influencia de la incorporación de cada uno de los niveles de cloruro de calcio en la resistencia mecánica de un material para afirmado.

1.4.2. Objetivos Específicos

1. Determinar las características físicas mecánicas del material para afirmado de la cantera El Gavilán.
2. Determinar las características físicas mecánicas del material para afirmado de la cantera El Gavilán con incorporaciones de 1%, 2%, 3% y 4% de cloruro de calcio.

CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes

Mateos (2006) estudio el efecto de cuatro niveles de cloruro de calcio en las propiedades mecánicas del suelo. Estableció cuatro incorporaciones de cloruro de calcio (0.5%, 1.0%, 1.5%, 2.0%) más un control (0% de cloruro de calcio). Para la evaluación de las propiedades mecánicas de cada incorporación se realizó ensayos de CBR.

Los resultados fueron que al adicionar cloruro de calcio aumenta la densidad seca, por lo tanto, se incrementa la capacidad portante.

El autor concluye en que el cloruro cálcico es uno de los agentes estabilizadores de suelos más económicos, siendo usado, por los beneficios que reporta, tanto en la construcción de capas de sub-base y base para autopistas y carreteras, como en capas de rodadura de caminos ordinarios de tierra. Además, aclara que el cloruro, no convierte un suelo en un material con las características del suelocemento, por ejemplo, sino que origina cambios en el suelo que son a veces intangibles, pero que mejoran la estabilidad de los pavimentos y reducen el coste de la conservación.

Gutiérrez (2010) realizó un estudio que tiene como objetivo determinar que el cloruro de magnesio es la opción que ofrece mayores ventajas técnicas, económicas y ambientales frente al cloruro de calcio y consecuentemente frente a los demás aditivos (sales) con los cuales suele compararse.

Para el caso de la determinación de las ventajas técnicas de los aditivos; los datos acerca de la efectividad del estabilizador químico, fueron recogidos a través de la revisión bibliográfica de otras investigaciones relacionadas con el uso del cloruro de Calcio como estabilizadores para las carreteras no pavimentadas. Para el caso de la Bischofita, la efectividad del estabilizador se determinó mediante ensayos realizados sobre probetas estabilizadas químicamente y sobre probetas no tratadas químicamente; teniendo como criterio de efectividad, la mejora en una propiedad de desempeño de los resultados obtenidos de las probetas estabilizadas químicamente sobre las otras.

Obteniendo como conclusiones generales del estudio que se demostró técnica, económica y ambientalmente que el Cloruro de Magnesio Hexahidratado tiene grandes desventajas frente al Cloruro de Calcio. Además, que con los grandes Salares los cuales se producen Cloruro de Calcio ubicados en Huacho y Lima se pueden estabilizar a un bajo costo las Carreteras de BVT de la Costa Norte, Centro y Sur del Perú; para las Carreteras de Bajo Volumen de Tránsito es conveniente privilegiar la creación de carreteras más económicas que sería con el Cloruro de Calcio, el cual presenta mejores aspectos técnicos, económicos y ambientales.

García (2015) realizó un estudio para Determinación de la resistencia de la subrasante incorporando cal estructural en el suelo limo arcilloso del sector 14 Mollepampa de Cajamarca. Estableció cuatro incorporaciones de cal estructural (2%,4%,6%,8%) más un control (0% de cal estructural). Para cada incorporación preparó tres moldes.

Se evaluaron las propiedades físicas:

- Granulometría
- Máxima densidad seca

Se evaluaron las propiedades mecánicas de:

- Límites Atterberg
- CBR
- Resistencia a la abrasión

Obteniendo como resultados del estudio que el CBR al 0.1": con un suelo natural un CBR de 5.20%, incorporando 2% de cal un CBR de 5.30%, incorporando 4% de cal un CBR de 6.30%, incorporando 6% de cal un CBR de 7.20%, e incorporando 8% de cal un CBR de 8.05; CBR al 0.2": con un suelo natural un CBR de 5.40%, incorporando 2% de cal un CBR de 5.70%, incorporando 4% de cal un CBR de 6.60%, incorporando 6% de cal un CBR de 7.50%, e incorporando 8% de cal un CBR de 8.30%.

El autor concluye en que el uso de cal aumenta la resistencia de una subrasante limo arcilloso, aumenta su máxima densidad seca y disminuye su índice de plasticidad logrando así un suelo limo arcilloso mejorado.

2.2. Bases Teóricas

2.2.1. Suelo y su clasificación

Para la ingeniería civil el término “suelo” se define como el depósito de partículas no cementadas de granos minerales materia orgánica descompuesta junto con líquido y gases los cuales ocupan los espacios vacíos entre las partículas sólidas, el suelo es de gran importancia ya que forma parte del apoyo de las estructuras construidas por el hombre, además el suelo se usa como material de construcción si cumple con las características geotécnicas necesarias para su fin, de no cumplirlas se pueden usar métodos para mejorarse (Campos y Vásquez, 1992).

Para la clasificación de los suelos tenemos diversos sistemas de clasificación siendo los más comunes: El Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS) y el American Association of State Highway Officials (AASTHO).

De acuerdo a la norma ASTM D2487 la cual tomo al Sistema Unificado de Clasificación de suelos (SUCS) como parte de sus métodos normalizados, nos muestra que para este sistema usaremos los siguientes símbolos de grupo consistentes en un prefijo que designa la composición del suelo y un sufijo que matiza sus propiedades. En la tabla N° 2 se muestran dichos símbolos y su significación:

Tabla 1. Símbolos Clasificación SUCS

TIPO DE SUELO	PREFIJO	SUBGRUPO	SUFIJO
Grava	G	Bien graduado	W
Arena	S	Pobremente graduado	P
Limo	M	Limoso	M
Arcilla	C	Arcilloso	C
Orgánico	O	Límite líquido alto (>50)	L
Turba	Pt	Límite líquido bajo (<50)	H

Fuente: ASTM D 2487, 2004

En función de estos símbolos, pueden establecerse diferentes combinaciones que definen uno y otro tipo de suelo:

Tabla 2. Clasificación de suelos SUCS

Símbolo	Características generales		
GW GP GM GC	GRAVAS (>50% en tamiz #4 ASTM)	Limpias (Finos<5%)	Bien graduadas
			Pobremente graduadas
		Con finos (Finos>12%)	Componente limoso
			Componente arcilloso
SW SP SM SC	ARENAS	Limpias (Finos<5%)	Bien graduadas
			Pobremente graduadas
	(<50% en tamiz #4 ASTM)	Con finos (Finos>12%)	Componente limoso
			Componente arcilloso
ML	LIMOS	Baja plasticidad (LL<50)	
MH		Alta plasticidad (LL>50)	
CL	ARCILLAS	Baja plasticidad (LL<50)	
CH		Alta plasticidad (LL>50)	
OL	SUELOS	Baja plasticidad (LL<50)	
OH	ORGÁNICOS	Alta plasticidad (LL>50)	
Pt	TURBA	Suelos altamente orgánicos	

Fuente: ASTM D 2487, 2004

Una de los sistemas más usados en carreteras es la empleada por la American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO), y que fue originalmente desarrollada por los ilustres geotécnicos Terzaghi y Hogentogler para el Bureau of Public Roads norteamericano.

Inspirada en el modelo de Casagrande, considera siete grupos básicos de suelos, numerados desde el A-1 hasta el A-7. A su vez, algunos de estos grupos presentan subdivisiones; así, el A-1 y el A-7 tienen dos subgrupos y el A-2, cuatro.

Los únicos ensayos necesarios para encuadrar un suelo dentro de un grupo u otro son el análisis granulométrico y los límites de Atterberg. Si queremos determinar su posición relativa dentro del grupo, es necesario introducir el concepto de índice de grupo (IG), expresado como un número entero con un valor comprendido entre 0 y 20 en función del porcentaje de suelo que pasa a través del tamiz N° 200 ASTM (0.080 UNE):

Ecuación 1. Índice de grupo

$$IG = 0.2a + 0.005ac + 0.01b - d \dots\dots\dots (1)$$

En donde:

a es el porcentaje en exceso sobre 35, de suelo que pasa por dicho tamiz, sin pasar de 75. Se expresa como un número entero de valor entre 0 y 40.

b es el porcentaje en exceso sobre 15, de suelo que atraviesa el tamiz, sin superar un valor de 55. Es un número entero que oscila entre 0 y 40.

c es el exceso de límite líquido (LL) sobre 40, y nunca superior a 60. Se expresa como un número entero comprendido entre 0 y 20.

d es el exceso de índice de plasticidad (IP) sobre 10, nunca superior a 30. Es también un número entero positivo comprendido entre 0 y 20.

En la página siguiente se muestra la tabla de clasificación de suelos AASHTO, en la que se recogen todas las características exigibles a cada grupo -y subgrupo, en el caso de que exista- de suelo.

Tabla 3. Clasificación de suelos AASHTO

DIVISIÓN GENERAL		Materiales Granulares (pasa menos del 35% por el tamiz ASTM #200)							Materiales Limo-arcillosos (más del 35% por el tamiz ASTM #200)				
GRUPO		A-1		A-3	A-2				A-4	A-5	A-6	A-7	
Subgrupo		A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7				A-7-5	A-7-6
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO (% que pasa por cada tamiz)													
Serie ASTM	#10	≤ 50											
	#40	≤ 30	≤ 50	≥ 51									
	#200	≤ 15	≤ 25	≤ 10	≤ 35	≤ 35	≤ 35	≤ 35	≥ 36	≥ 36	≥ 36	≥ 36	≥ 36
ESTADO DE CONSISTENCIA (de la fracción de suelo que pasa por el tamiz ASTM #40)													
Límite líquido				NP	≤ 40	≥ 41	≤ 40	≥ 41	≤ 40	≥ 41	≤ 40	> 41 (IP<LL-30)	> 41 (IP>LL-30)
Índice de plasticidad		≤ 6			≤ 10	≤ 10	≥ 11	≥ 11	≤ 10	≤ 10	≥ 11	≥ 11	≥ 11
ÍNDICE DE GRUPO		0	0	0	≤ 4			≤ 8	≤ 12	≤ 20	≤ 20		
TIPOLOGÍA		Fragmentos de piedra, grava y arena		Arena fina	Gravas y arenas limosas o arcillosas				Suelos limosos		Suelos arcillosos		
CALIDAD		EXCELENTE A BUENA					ACEPTABLE A MALA						

Fuente: ASTM D 3282, 2004

2.2.1.1. Estabilización de suelos

En la construcción de pavimentos no es común encontrar suelos aptos para ser usados como terreno de fundación o material de construcción, por lo que se ha desarrollado métodos para mejorar las propiedades físicas y mecánicas denominando a estos procesos, estabilización de suelos, los cuales tienen como fin obtener un material de mejor calidad con cualidades capaces de soportar las condiciones bajo las cuales estará durante su tiempo de servicio.

La estabilización de suelos se puede clasificar en:

- **Estabilización Física:** Comprende en buscar una buena granulometría usando materiales granulares o cohesivos.
- **Estabilización Mecánica:** Implica el tratamiento y la compactación de los suelos para su densificación.
- **Estabilización Química:** Encierra los cambios que se le dan a las propiedades del suelo mediante el uso de agentes cementantes, ligantes asfálticos o humectantes para lograr una adecuada estabilidad.

2.2.2. Afirmado

El Afirmado consiste en una capa compactada de material granular natural o procesada, con gradación específica que soporta directamente las cargas y esfuerzos del tránsito. Debe poseer la cantidad apropiada de material fino cohesivo que permita mantener aglutinadas las partículas. Funciona como superficie de rodadura en caminos y carreteras no pavimentadas (MTC, 2013).

Los ensayos que se realizarán al material a ser usado como afirmado para su control de calidad están establecidos por el Ministerio de transportes y comunicaciones, en el Manual de Carreteras Especificaciones Técnicas Generales para construcción (2013)

Tabla 4. Ensayos de Material para afirmado

Material o producto	Propiedades y Característica	Método de ensayo	Norma ASTM	Norma AASHTO	Frecuencia	Lugar de muestra
Afirmado	Granulometría	MTC E 204	C 136	T27	1 cada 750 m ³	Cantera y pista
	Límites de Consistencia	MTC E 111	D 4318	T89	1 cada 750 m ³	Pista
	Abrasión Los Ángeles	MTC E 207	C 131	T96	1 cada 2.000	Cantera
	CBR	MTC E 132	D 1883	T193	1 cada 2.000	Cantera
	Densidad-Humedad	MTC E 115	D 1557	T180	1 cada 750 m ³	Pista
	Densidad-Humedad	MTC E 117 MTC E 124	D 1556 D 2922	T191 T238	1 cada 250 m ³	Pista

Fuente: MTC, 2013

2.2.2.1. Estabilización con Cloruro de Calcio

El cloruro de calcio utilizado para la estabilización de la vía, proviene de la reacción del cloro con el hidrógeno, dando como resultado un ácido clorhídrico de mayor pureza y por ende el cloruro de calcio es la reacción química del ácido con la caliza (carbonato de calcio); cuya propiedad fundamental, al ser higroscópico, es absorber la humedad del aire y de los materiales que le rodean, reduciendo el punto de evaporación y mejorando la cohesión del suelo. Su poder coagulante conlleva a un menor esfuerzo mecánico para lograr la densificación deseada, debido al intercambio iónico entre el calcio y los minerales componentes de la matriz fina de los materiales, produciéndose una acción cementante (MTC, 2013).

El material a estabilizar debe cumplir con los siguientes requisitos:

Granulometría: La granulometría del material deberá estar dentro del siguiente gradación.

Tabla 5. Granulometría del suelo aceptable para la estabilización con Cloruro de Calcio

Tamiz	Porcentaje que pasa
25.400 mm (1")	100
19.050 mm (3/4")	70-100
9.525 mm (3/8")	50-100
4.750 mm (Nº 4)	40-55
2.000 mm (Nº 10)	35-70
0.425 mm (Nº 40)	20-45
75 µm (Nº 200)	10-30

Fuente: (MTC, 2013)

El tamaño máximo del agregado grueso que contenga el suelo no debe ser mayor de 1/3 del espesor de la capa compactada de suelo-cloruro de calcio y en ningún caso mayor a 2". El espesor de capa de suelo estabilizado con cloruro de calcio será como mínimo de 15 cm o lo especificado en el Proyecto (MTC., 2013).

- **Plasticidad:** El límite líquido no debe ser mayor al 35% y el índice de plasticidad del suelo no debe ser mayor de 15%.
- **Composición química:** El suelo a estabilizar debe tener un pH mínimo de 5, para asegurar la reacción iónica que garantiza, la efectividad del cloruro de calcio. Para valores menores al indicado se verificará que el pH de la mezcla sea básico.
- **Abrasión:** Si los materiales a estabilizar van a conformar capas estructurales, los agregados gruesos deben tener un desgaste a la abrasión (Máquina de Los Ángeles) no mayor al 50%.

El cloruro de calcio que se usa para construcción de carreteras, debe satisfacer los requerimientos establecidos en las especificaciones ASTM D 98.

El contenido de cloruro de calcio en la mezcla, generalmente varía entre 1% a 3% en peso del suelo seco a estabilizar. No obstante, la cantidad adecuada de cloruro de calcio se definirá en función a las características propias de los materiales y a los ensayos de CBR, realizado mediante la norma ASTM D 1883 y en función a los resultados que se obtengan del tramo de prueba.

El agua que se use para la construcción de bases de suelo-sal debe estar limpia, no debe contener materia orgánica y estar libre de aceites, ácidos y álcalis perjudiciales.

Se podrá incorporar al agua, Cloruro de calcio, produciendo salmuera o también podrá aplicarse el agua de mar, mediante riego de salmueras, verificando que la cantidad de agua regada contenga la dosis adecuada de sal.

El valor de pH, medido de acuerdo con la norma NTP 339.073 deberá encontrarse entre 5,0 y 8,0 y el contenido de sulfatos, expresado como $SO_4^{=}$, determinado según la norma NTP 339.074, no podrá ser superior a 1.000 ppm.

2.2.3. Cloruro de calcio

2.2.3.1. Descripción

El calcio es la base del Cloruro Cálcico que normalmente se elabora mezclando caliza y ácido clorhídrico. El resultado de este sencillo proceso es un compuesto que por su versatilidad es esencialmente útil para fenómenos tan distintos como son la estabilización de carreteras. El cloruro de calcio se obtiene como un subproducto en forma de salmuera en algunos procesos industriales, aunque también se puede obtener de algunos arroyos y pozos naturales siendo la fuente más común el obtenido en la elaboración de carbonato de sodio mediante procedimientos químicos (Gutiérrez, 2010).

La mayor parte del cloruro de calcio, Cl_2Ca , procede de canteras o minas y es obtenido como subproducto del método Solvay en la producción de carbonato sódico.

Puede existir anhidro o en varios grados de hidratación; puro o en combinación con otras sales. El grado de pureza no es importante, principalmente porque las impurezas más comunes son cloruro sódico, $ClNa$, y cloruro magnésico, Cl_2Mg ; y estas dos sales producen en los suelos efectos similares al cloruro cálcico. Sin embargo, debido a que el cloruro de magnesio es muy corrosivo su contenido debe ser el menor posible cuando el cloruro cálcico se emplea en tratamientos superficiales (Mateos, 2006).

Según Mateos de Viscente (2006) los efectos beneficiosos y las limitaciones del uso de cloruro de calcio como agente estabilizador son los siguientes:

Efectos beneficiosos:

- Mantienen estable la humedad durante el proceso de compactación.
- Aumenta la densidad máxima para un mismo esfuerzo de compactación.
- Mantiene la superficie del pavimento húmeda, reduciendo la formación de polvo con el tránsito y reteniendo los agregados en la carretera.
- Rebaja la temperatura de congelación del agua, por lo que los suelos sufren menos los efectos de la helada.

Limitaciones:

- Se recomienda emplear con suelos bien graduados.
- Se disuelve y es arrastrado por las aguas de lluvia.
- Para usarse como paliativo del polvo la humedad relativa debe de ser mayor que la crítica durante parte del día.
- Cuando se usa en tratamientos superficiales, partículas de cloruro se pueden depositar en los vehículos acentuando la corrosión de las partes metálicas.

2.2.4. Ensayos de laboratorio

2.2.4.1. Análisis granulométrico de agregados gruesos y finos MTC E 204–2000

a) Objeto

- Determinar, cuantitativamente, los tamaños de las partículas de agregados gruesos y finos de un material, por medio de tamices de abertura cuadrada.
- Se determina la distribución de los tamaños de las partículas de una muestra seca del agregado, por separación a través de tamices dispuestos sucesivamente de mayor a menor abertura.
- La determinación exacta de materiales que pasan el tamiz de 75 μm (N°. 200) no puede lograrse mediante este ensayo. El método de ensayo que se debe emplear será: "Determinación de la cantidad de material fino que pasa el tamiz de 75 μm (N°. 200)", norma MTC E 202.

b) Aparatos y materiales

- Balanza, con sensibilidad de por lo menos 0.1% del peso de la muestra que va a ser ensayada.
- Tamices. Tamices seleccionados de acuerdo con las especificaciones del material que va a ser ensayado.
- Estufa de tamaño adecuado, capaz de mantener una temperatura uniforme de $110^{\circ} \pm 5^{\circ} \text{C}$ ($230^{\circ} \pm 9^{\circ} \text{F}$).

c) Preparación de la muestra

- Séquese la muestra a una temperatura de $110^{\circ} \pm 5^{\circ} \text{C}$ ($230^{\circ} \pm 9^{\circ} \text{F}$), hasta obtener peso constante.

Nota 1. Cuando se deseen resultados rápidos, no es necesario secar el agregado grueso para este ensayo, debido a que el resultado se afecta poco por el contenido de humedad a menos que:

- a) El tamaño máximo nominal sea menor de 12.5 mm (1/2")
- b) El agregado grueso tenga una cantidad apreciable de finos menores de 4.75 mm (N°. 4).
- c) El agregado grueso sea altamente absorbente (por ejemplo, un agregado ligero).

También las muestras pueden secarse con las más altas temperaturas asociadas con el uso de planchas de calentamiento, sin que se afecten los resultados, pues se permiten escapes de vapores que no generan presiones suficientes para fracturar las partículas, ni temperaturas tan altas que causen rompimiento químico de los agregados.

d) Procedimiento

- Selecciónese un grupo de tamices de tamaños adecuados para cumplir con las especificaciones del material que se va a ensayar. Colóquense los tamices en orden decreciente, por tamaño de abertura. Efectúese la operación de tamizado a mano o por medio de un tamizador mecánico, durante un período adecuado.
- Límitese la cantidad de material en un tamiz dado, de tal forma que todas las partículas tengan la oportunidad de alcanzar las aberturas del tamiz varias veces durante la operación del tamizado.

El peso retenido en tamices menores al de 4.75 mm (N°. 4) cuando se complete la operación de tamizado, no debe ser mayor de 7 kg/m² de superficie tamizada.

Para tamices de 4.75 mm (N°. 4) y mayores, el peso en kg/m² por superficie de tamizado no excederá el producto de 2.5 x abertura del tamiz (mm).

En ningún caso, el peso debe ser tan grande que cause deformación permanente en la malla del tamiz.

Nota 2 La cantidad de 7 kg/m² equivale a 200 g para el diámetro usual de 203 mm (8") de los marcos de los tamices. La cantidad de material en un tamiz puede regularse por:

a) La introducción de un tamiz con abertura más grande antes éste.

b) Probando la muestra en un número de incrementos.

- Continúese el tamizado por un período suficiente, de tal forma que después de terminado, no pase más del 1% de la cantidad en peso retenida en cada tamiz, durante un minuto de tamizado continuo a mano, realizado de la siguiente manera: tómese individualmente cada tamiz, con su tapa y un fondo que ajuste sin holgura, con la mano en una posición ligeramente inclinada. Se golpea secamente el lado del tamiz, con un movimiento hacia arriba contra la palma de la otra mano, a razón de 150 veces por minuto, girando el tamiz aproximadamente 1/6 de vuelta en cada intervalo de 25 golpes. Se considerará satisfactorio el tamizado para tamaños mayores al tamiz de 4.75 mm (Nº. 4), cuando el total de las partículas del material sobre la malla forme una sola capa. Si el tamaño de los tamices hace impracticable el movimiento de tamizado recomendado, utilícense tamices de 203 mm (8") de diámetro para comprobar la eficiencia del tamizado.
- En el caso de mezclas de agregados gruesos y finos, la porción de muestra más fina que el tamiz de 4.75 mm (Nº. 4) puede distribuirse entre dos o más grupos de tamices para prevenir sobrecarga de los tamices individuales.
- Para partículas mayores de 75 mm (3"), el tamizado debe realizarse a mano, determinando la abertura del tamiz más pequeño por el que pasa la partícula.

Comiencese el ensayo con el tamiz más pequeño que va a ser usado. Rótense las partículas si es necesario, con el fin de determinar si ellas pasarán a través de dicho tamiz; sin embargo, no deberán forzarse las partículas para que pasen a través de éste. Cuando sea necesario determinar la cantidad de material que

pasa el tamiz de 75 mm (N°. 200), se ensayará primero la muestra de acuerdo con la norma citada. Se añade el porcentaje de material más fino que el tamiz de 75 mm (N°. 200) determinado por el mencionado método, al porcentaje tamizado sobre este mismo tamiz, determinado en el resto de la muestra, cuando se ensaye en seco mediante el presente método.

- Determinése el peso de la muestra retenido en cada tamiz, con una balanza.

El peso total del material después del tamizado, debe ser comparado con el peso original de la muestra que se ensayó. Si la cantidad difiere en más del 0.3%, basado en el peso de la muestra original seca, el resultado no debe ser aceptado.

2.2.4.2. Determinación del límite líquido de los suelos MTC E 110 – 2000

a) Objetivo

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

a) Aparatos y materiales

- *Recipiente para Almacenaje.* Una vasija de porcelana de 115 mm (4 ½") de diámetro aproximadamente.
- *Espátula.* De hoja flexible de unos 75 a 100 mm (3" – 4") de longitud y 20 mm (¾") de ancho aproximadamente.
- Aparato del límite líquido (o de Casagrande).

De operación manual. Es un aparato consistente en una taza de bronce con sus aditamentos, construido de acuerdo con las dimensiones estandarizadas.

De operación mecánica. Es un aparato equipado con motor para producir la altura y el número de golpes. El aparato debe dar los mismos valores para el límite líquido que los obtenidos con el aparato de operación manual.

- *Acanalador.* Conforme con las dimensiones críticas estandarizadas.
- *Calibrador.* Ya sea incorporado al ranurador o separado, de acuerdo con la dimensión crítica "d" mostrada en la Figura 1, y puede ser, si fuere separada, una barra de metal de 10.00 ± 0.2 mm ($0.394" \pm 0.008"$) de espesor y de 50 mm (2") de largo, aproximadamente.
- *Recipientes o Pesa Filtros.* De material resistente a la corrosión, y cuya masa no cambie con repetidos calentamientos y enfriamientos. Deben tener tapas que cierren bien, sin costuras, para evitar las pérdidas de humedad de las muestras antes de la pesada inicial y para evitar la absorción de humedad de la atmósfera tras el secado y antes de la pesada final.
- *Balanza.* Una balanza con sensibilidad de 0.01 gr.
- *Estufa.* Termostáticamente controlado y que pueda conservar temperaturas de 110 ± 5 °C (230 ± 9 °F) para secar la muestra.

2.2.4.3. Determinación del límite plástico e índice de plasticidad MTC E 111–2000

a) Objetivo

- Es la determinación en el laboratorio del límite plástico de un suelo y el cálculo del índice de plasticidad (I.P.) si se conoce el límite líquido (L.L.) del mismo suelo.
- Se denomina límite plástico (L.P.) a la humedad más baja con la que pueden formarse barritas de suelo de unos 3,2 mm (1/8") de diámetro, rodando dicho suelo entre la palma de la mano y una superficie lisa (vidrio esmerilado), sin que dichas barritas se desmoronen.

b) Aparatos y materiales

- *Espátula, de hoja flexible*, de unos 75 a 100 mm (3" – 4") de longitud por 20 mm (3/4") de ancho.
- *Recipiente para almacenaje*, de porcelana o similar, de 115 mm (4 ½") de diámetro.
- *Balanza*, con aproximación a 0.01 g.
- *Horno o estufa*, termostáticamente controlado regulable a 110 ± 5 °C (230 ± 9 °F).
- Tamiz, de 426 μ m (N° 40).
- Agua destilada.
- Vidrios de reloj, o recipientes adecuados para determinación de humedades.
- Superficie de rodadura. Comúnmente se utiliza un vidrio grueso esmerilado.

c) Procedimiento

- Se moldea la mitad de la muestra en forma de elipsoide y, a continuación, se rueda con los dedos de la mano sobre una superficie lisa, con la presión estrictamente necesaria para formar cilindros.
- Si antes de llegar el cilindro a un diámetro de unos 3.2 mm (1/8") no se ha desmoronado, se vuelve a hacer un elipsoide y a repetir el proceso, cuantas veces sea necesario, hasta que se desmorone aproximadamente con dicho diámetro.

El desmoronamiento puede manifestarse de modo distinto, en los diversos tipos de suelo:

En suelos muy plásticos, el cilindro queda dividido en trozos de unos 6 mm de longitud, mientras que en suelos plásticos los trozos son más pequeños.

- La porción así obtenida se coloca en vidrios de reloj o pesa-filtros tarados, se continúa el proceso hasta reunir unos 6 g de suelo y se determina la humedad de acuerdo con la norma MTC E 108.
- Se repite, con la otra mitad de la masa, el proceso indicado en los tres primeros pasos.

2.2.4.4. Abrasión los ángeles (L.A) al desgaste de los agregados de tamaños menores de 37.5 mm (1 ½") MTC E 207 – 2000

a) Objetivo

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

b) Aparatos y materiales

- Balanza, que permita la determinación del peso con aproximación de 1 g.
- Estufa, que pueda mantener una temperatura uniforme de 110 ± 5 °C (230 ± 9 °F).
- Tamices.

- Máquina de Los Ángeles: Consiste en un cilindro hueco, de acero, con una longitud interior de 508 ± 5 mm (20 ± 0.2 ") y un diámetro, también interior, de 711 ± 5 mm (28 ± 0.2 ").
- Carga abrasiva. La carga abrasiva consistirá en esferas de acero o de fundición, de un diámetro entre 46.38 mm ($1 \frac{13}{16}$ ") y 47.63 mm ($1 \frac{7}{8}$ ") y un peso comprendido entre 390 g y 445 g.

La carga abrasiva dependerá de la granulometría de ensayo, A, B, C o D, según se indica en las siguientes tablas:

Tabla 6. Carga abrasiva y granulometría para Abrasión de Los Ángeles

Pasa tamiz		Retenido en tamiz		Pesos y granulometrías de la muestra para ensayo (g)			
mm	(alt.)	mm	(alt.)	A	B	C	D
37,5	(1 1/2")	25,0	(1")	1250			
25,0	(1")	19,0	(3/4")	1250			
19,0	(3/4")	12,5	(1/2")	1250	2500 ±		
12,5	(1/2")	9,5	(3/8")	1250	2500 ±		
9,5	(3/8")	6,3	(1/4")			2500 ±	
6,3	(1 1/4")	4,75	(N° 4)			2500 ±	
4,75	(N° 4)	2,36	(N° 8)				5000 ±
TOTALES				5000	2500 ±	5000 ±	5000 ±

Fuente: MTC, 2000

Tabla 7. Peso y granulometría de la muestra para ensayo

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

Fuente: MTC, 2000

c) Procedimiento

- Ejecución del ensayo. La muestra y la carga abrasiva correspondiente, se colocan en la máquina de Los Ángeles, y se hace girar el cilindro a una velocidad comprendida entre 30 y 33 rpm; el número total de vueltas deberá ser 500. La máquina deberá girar de manera uniforme para mantener una velocidad periférica prácticamente constante. Una vez cumplido el número de vueltas prescrito, se descarga el material del cilindro y se procede con una separación preliminar de la muestra ensayada, en el tamiz N° 12. La fracción fina que pasa, se tamiza a continuación empleando el tamiz de 1.70 mm (N° 12). El material más grueso que el tamiz de 1.70 mm (N° 12) se lava, se seca en el horno, a una temperatura comprendida entre 105 a 110 °C (221 a 230 °F), hasta peso constante, y se pesa con precisión de 1 g.
- Cuando el agregado esté libre de costras o de polvo, puede eliminarse la exigencia del lavarlo antes y después del ensayo. La eliminación del lavado posterior, rara vez reducirá la pérdida medida, en más del 0.2% del peso de la muestra original.

2.2.4.5. CBR de suelos (laboratorio) MTC- E 132-2000

a) Objetivo

- Describe el procedimiento de ensayo para la determinación de un índice de resistencia de los suelos denominado valor de la relación de soporte, que es muy conocido, como CBR (California Bearing Ratio). El ensayo se realiza normalmente sobre suelo preparado en el laboratorio en condiciones determinadas de humedad y densidad; pero también puede operarse en forma análoga sobre muestras inalteradas tomadas del terreno.
- Este índice se utiliza para evaluar la capacidad de soporte de los suelos de subrasante y de las capas de base, subbase y de afirmado.

- Este modo operativo hace referencia a los ensayos para determinación de las relaciones de Peso Unitario - Humedad, usando un equipo modificado.

b) Aparatos y materiales

- Prensa similar a las usadas en ensayos de compresión, utilizada para forzar la penetración de un pistón en el espécimen.
- Molde, de metal, cilíndrico, de $152,4\text{mm} \pm 0.66\text{ mm}$ ($6 \pm 0.026''$) de diámetro interior y de $177,8 \pm 0.46\text{ mm}$ ($7 \pm 0.018''$) de altura, provisto de un collar de metal suplementario de 50.8 mm ($2.0''$) de altura y una placa de base perforada de 9.53 mm ($3/8''$) de espesor.
- Disco espaciador, de metal, de forma circular, de 150.8 mm ($5\ 15/16''$) de diámetro exterior y de $61,37 \pm 0,127\text{ mm}$ ($2,416 \pm 0,005''$) de espesor, para insertarlo como falso fondo en el molde cilíndrico durante la compactación.
- Pistón de compactación como el descrito en el modo operativo de ensayo Proctor Modificado, (equipo modificado).
- Aparato medidor de expansión compuesto por:

Una placa de metal perforada, por cada molde, de 149.2 mm ($5\ 7/8''$) de diámetro, cuyas perforaciones no excedan de $1,6\text{ mm}$ ($1/16''$) de diámetro.

Un trípode cuyas patas puedan apoyarse en el borde del molde, que lleve montado y bien sujeto en el centro un dial (deformímetro), cuyo vástago coincida con el de la placa, de forma que permita controlar la posición de éste y medir la expansión, con aproximación de 0.025 mm ($0.001''$)

- Pesas. Uno o dos pesas anulares de metal que tengan una masa total de $4,54 \pm 0,02\text{kg}$ y pesas ranuradas de metal cada una con masas de $2,27 \pm 0,02\text{ kg}$.
- Pistón de penetración, metálico de sección transversal circular

- Dos diales con recorrido mínimo de 25 mm (1") y divisiones lecturas en 0.025 mm (0.001"), uno de ellos provisto de una pieza que permita su acoplamiento en la prensa para medir la penetración del pistón en la muestra.
- Tanque, con capacidad suficiente para la inmersión de los moldes en agua.
- Estufa, capaz de mantener una temperatura de 110 ± 5 °C (230 ± 9 °F).
- Balanzas, una de 20 kg de capacidad y otra de 1000 g con sensibilidades de 1 g y 0.1 g, respectivamente.
- Tamices, de 4.76 mm (N°. 4), 19.05 mm (3/4") y 50,80 mm (2").
- Misceláneos, de uso general como cuarteador, mezclador, cápsulas, probetas, espátulas, discos de papel de filtro del diámetro del molde, etc.

c) Procedimiento

Donde este procedimiento consta de 3 fases:

- Ensayo de compactación CBR (determinación de la densidad y húmeda del suelo)

Preparar la muestra con el contenido óptimo de humedad determinado en el ensayo de compactación proctor modificado.

Compactar la muestra con 5 capas en cada uno de los 3 moldes CBR, el primero con 12 golpes, el segundo con 26 golpes y el tercero con 55 golpes por capa.

Determinar la densidad húmeda y el contenido de humedad de las muestras en cada molde.

Determinar la densidad seca de las muestras de cada molde.

- Ensayo de hinchamiento (determinación de las propiedades expansivas del material)

Invertir las muestras de tal manera que la superficie libre quede en la parte superior cuando se ensambla nuevamente los moldes en sus placas de base.

Colocar sobre cada muestra el papel filtro, la placa de expansión, la sobrecarga, el trípode y el dial de expansión.

Colocar los tres moldes debidamente equipados en un tanque de agua durante días (96 horas), registrar las lecturas de expansión cada 24 horas.

- Ensayo carga – penetración (determinación de la resistencia a la penetración)

Después de los 4 días sacar los moldes del tanque de agua y de cada uno de ellos retirar el dial, el trípode, la sobrecarga y la placa de expansión, dejarlos drenar durante 15 minutos.

Colocar la sobrecarga en cada molde, llevar a la prensa hidráulica, proceder al ensayo de penetración aplicando un pisón a una velocidad de 0.05 pulga/min, registrar las lecturas de carga de cada muestra en las siguientes lecturas de penetración.

Tabla 8. Lecturas del CBR

Lecturas de penetración - CBR	
Pulgadas	Milímetros
0.000	0.000
0.025	0.640
0.050	1.270
0.075	1.910
0.100	2.540
0.125	3.180
0.150	3.810

0.175	4.450
0.200	5.080
0.250	6.350
0.300	7.620
0.350	8.890
0.400	10.160
0.450	11.430
0.500	12.700

Fuente: MTC, 2000

2.2.4.6. Compactación de suelos en laboratorio utilizando una energía modificada (56 000 pie-lb/pie³ [2 700 kN-m/m³]) MTC E 115-2000

a) Resumen del método

Un suelo con un contenido de Humedad determinado es colocado en 5 capas dentro de un molde de ciertas dimensiones, cada una de las capas es compactada en 25 o 56 golpes con un pisón de 10 lbf (44.5 N) desde una altura de caída de 18 pulgadas (457 mm), sometiendo al suelo a un esfuerzo de compactación total de aproximadamente de 56 000 pie-lbf/pie³ (2 700 kN-m/m³). Se determina el Peso Unitario Seco resultante. El procedimiento se repite con un número suficiente de contenidos de agua para establecer una relación entre el Peso Unitario Seco y el Contenido de Agua del Suelo. Estos datos, cuando son ploteados, representan una relación curvilínea conocida como curva de Compactación. Los valores de Optimo Contenido de Agua y Máximo Peso Unitario Seco Modificado son determinados de la Curva de Compactación.

b) Importancia y uso

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

para obtener las propiedades de Ingeniería requeridas, y para el control de la construcción para asegurar la obtención de la compactación requerida y los contenidos de agua.

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

c) Aparatos

- Ensamblaje del molde.
- Molde de 4 pulgadas.
- Molde de 6 pulgadas
- Pisón o Martillo
- Pisón Manual
- Pisón Mecánico Circular.
- Pisón Mecánica – Cara Seccionada
- Extracto de Muestras
- Balanza
- Horno de secado
- Regla
- Tamices o Mallas
- Herramientas de Mezcla

2.3. Definición de términos básicos

Afirmado: Capa compactada de material granular natural o procesado con gradación específica que soporta directamente las cargas y esfuerzos del tránsito. Debe poseer la cantidad apropiada de material fino cohesivo que permita mantener aglutinadas las partículas. Funciona como superficie de rodadura en carreteras y trochas carrozables (MTC, 2008).

Estabilización de suelos: 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 las superficies de rodadura o capas inferiores de la carretera, y son conocidas como suelo cemento, suelo cal y otros diversos (MTC, 2008).

Estabilización química: mejoramiento de las propiedades físicas y/o mecánicas de un suelo, mediante la incorporación de un compuesto químico (MTC, 2004).

Cloruro de calcio: El cloruro de calcio utilizado para la estabilización de la vía, proviene de la reacción del cloro con el hidrógeno, dando como resultado un ácido clorhídrico de mayor pureza y por ende el cloruro de calcio es la reacción química del ácido con la caliza (carbonato de calcio); cuya propiedad fundamental, al ser higroscópico, es absorber la humedad del aire y de los materiales que le rodean, reduciendo el punto de evaporación y mejorando la cohesión del suelo. Su poder coagulante conlleva a un menor esfuerzo mecánico para lograr la densificación deseada, debido al intercambio iónico entre el calcio y los minerales componentes de la matriz fina de los materiales, produciéndose una acción cementante (MTC, 2013).

Granulometría: Representa la distribución de los tamaños que posee el agregado mediante el tamizado según especificaciones técnicas (MTC, 2008).

Análisis granulométrico o mecánico: Procedimiento para determinar la granulometría de un material o la determinación cuantitativa de la distribución de tamaños (MTC, 2008).

Tamiz: Aparato, en un laboratorio, usado para separar tamaños de material, y donde las aberturas son cuadradas (MTC, 2008).

Límite líquido: Contenido de agua del suelo entre el estado plástico y el líquido de un suelo (MTC, 2008).

Límite plástico: Contenido de agua de un suelo entre el estado plástico y el semi-sólido (MTC, 2008).

AASHTO: American Association of State Highway and Transportation Officials o Asociación Americana de Autoridades Estatales de Carreteras y Transporte (MTC, 2013).

Curva de compactación (curva de Proctor): Representación gráfica que relaciona el peso unitario seco (densidad) y el contenido de agua del suelo para un determinado esfuerzo de compactación (MTC, 2008).

Resistencia mecánica o CBR (California Bearing Ratio): Valor relativo de soporte de un suelo o material, que se mide por la penetración de una fuerza dentro de una masa de suelo (MTC, 2008).

MTC: Ministerio de Transportes y Comunicaciones.

CAPÍTULO 3. HIPÓTESIS

3.1. Formulación de la hipótesis

La resistencia mecánica del material para afirmado de la cantera “El Gavilán” aumenta hasta en un 5% por cada 1% de cloruro de calcio incorporado.

3.2. Variables

- **Variable dependiente:** Resistencia mecánica del material para afirmado de la cantera “El Gavilán”
- **Variable independiente:** Porcentaje de cloruro de calcio.

3.3. Operacionalización de variables

Tabla 9. Operacionalización de variables

VARIABLE		DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DIMENSIONES	INDICADORES
Dependiente	Resistencia mecánica del material de la cantera El Gavilán	Valor relativo de soporte de un suelo o material	CBR	Limite líquido Limite plástico Índice de plasticidad Óptimo contenido de humedad Máxima densidad seca %CBR 0.1”
Independiente	Porcentaje de cloruro de calcio	Compuesto químico, inorgánico, mineral de formula molecular CaCl_2	Porcentaje de cloruro de calcio	Porcentajes de 1, 2, 3 y 4 de cloruro de calcio en el material para afirmado

CAPÍTULO 4. MATERIAL Y MÉTODOS

4.1. Tipo de diseño de investigación

Experimental:

Experimental / Aplicativa

4.2. Material.

4.2.1. Unidad de estudio.

El material para afirmado de la cantera El Gavilán

4.2.2. Población.

El material para afirmado de la cantera El Gavilán

4.2.3. Muestra.

El material para afirmado de la cantera El Gavilán

4.3. Métodos.

4.3.1. Técnicas de recolección de datos y análisis de datos

La recolección de datos será mediante observación usando como herramienta a los ensayos de laboratorio establecidos en el Manual de ensayos de materiales para carreteras el cual contiene normativa establecida por el Ministerio de Transportes y Comunicaciones. Se realizará ensayos al material sin estabilizar y al material estabilizado con cloruro de calcio para así poder determinar cómo influye la adición del cloruro de calcio en la resistencia mecánica del material para afirmado de la cantera “El Gavilán”.

Tabla 10. Recolección de datos material sin estabilizar

Variable	Fuente	Técnica	Instrumentos
Tamaño de las partículas	Material para afirmado	Observación Directa	- Balanza - Tamices - Horno
Límite líquido	Material para afirmado	Observación Directa	- Espátula

Variable	Fuente	Técnica	Instrumentos
			<ul style="list-style-type: none"> - Copa de Casagrande - Vasija - Balanza - Horno - Acanalador
Límite plástico	Material para afirmado	Observación Directa	<ul style="list-style-type: none"> - Espátula - Recipiente para almacenaje - Balanza - Horno - Tamiz N°40 - Agua - Vidrio esmerilado
Desgaste de los agregados	Material para afirmado	Observación Directa	<ul style="list-style-type: none"> - Balanza - Estufa - Tamices - Máquina de los ángeles - Carga abrasiva
Resistencia de los suelos	Material para afirmado	Observación Directa	<ul style="list-style-type: none"> - Prensa - Molde - Disco espaciador - Pisón de compactación - Medidor de expansión - Trípode - Pesas - Pistón de penetración - Dos diales - Tanque

Variable	Fuente	Técnica	Instrumentos
			<ul style="list-style-type: none"> - Horno - Balanza - Tamices - Cuarteador - Papel filtro

Fuente: Elaboración Propia, 2016

Tabla 11. Recolección de datos material estabilizado

Variable	Fuente	Técnica	Instrumentos
Tamaño de las partículas	Material para afirmado estabilizado	Observación Directa	<ul style="list-style-type: none"> - Balanza - Tamices - Horno
Límite líquido	Material para afirmado estabilizado	Observación Directa	<ul style="list-style-type: none"> - Espátula - Copa de Casagrande - Vasija - Balanza - Horno - Acanalador
Límite plástico	Material para afirmado estabilizado	Observación Directa	<ul style="list-style-type: none"> - Espátula - Recipiente para almacenaje - Balanza - Horno - Tamiz N°40 - Agua - Vidrio esmerilado
Desgaste de los agregados	Material para afirmado estabilizado	Observación Directa	<ul style="list-style-type: none"> - Balanza - Estufa - Tamices - Máquina de los ángeles

Variable	Fuente	Técnica	Instrumentos
			- Carga abrasiva
Resistencia de los suelos	Material para afirmado estabilizado	Observación Directa	- Prensa - Molde - Disco espaciador - Pisón de compactación - Medidor de expansión - Trípode - Pesas - Pistón de penetración - Dos diales - Tanque - Horno - Balanza - Tamices - Cuarteador - Papel filtro

Fuente: Elaboración Propia, 2016

4.3.2. Procedimientos

- a) **Primero:** Se determinó la cantera en estudio, siendo seleccionada la cantera El Gavilán (muestra por conveniencia).
- b) **Segundo:** Se obtendrán las muestras de la cantera elegida, para ser llevadas al laboratorio y determinar sus propiedades (granulometría, límites de Atterberg y abrasión)
- c) **Tercero:** Al contar con sus propiedades se realizará los ensayos de proctor modificado y CBR del material para afirmado.

- d) **Cuarto:** Se realizará los ensayos de límites de atterberg, proctor modificado y CBR a cada una de las muestras incorporándole porcentajes de cloruro de calcio.

- e) **Quinto:** Se compara los resultados para poder obtener las respuestas a la hipótesis.

CAPÍTULO 5. DESARROLLO

A continuación, se describe el procedimiento de las actividades que se realizaron para el desarrollo de la investigación.

5.1. Adquisición del material para afirmado

Para la construcción de afirmados, se utilizan materiales granulares naturales procedentes de canteras que deben cumplir con requisitos mínimos de, granulometría, coeficiente de desgaste a la abrasión de los ángeles, límite líquido, índice de plasticidad y CBR.

Se eligió la cantera El Gavilán por conveniencia, en esta cantera el material para afirmado es obtenido mediante un proceso de zarandeo por una malla de 1", se adquirió el material necesario para los ensayos de, Granulometría, Límites de Atterberg, Abrasión de los Ángeles, Compactación de suelos y CBR de suelos.

Foto 2. Adquisición del material para afirmado de la cantera El Gavilán



Fuente: Elaboración propia, 2017.

5.1.1. Ubicación de la cantera El Gavilán

Se encuentra ubicada a 3250 m.s.n.m., al sureste de la ciudad de Cajamarca en las faldas del cerro ventanilla cerca del abra El Gavilán al costado derecho de la carretera Cajamarca – Pacasmayo.

Foto 3. Georreferenciación de la cantera El Gavilán.



Fuente: Google Earth, 2017

5.2. Adquisición del cloruro de calcio

Para seleccionar el Cloruro de Calcio, se tuvo como base la norma ASTM D-98 Standard Specification for Calcium Chloride la cual especifica los requisitos mínimos con la cual debe cumplir el material.

5.3. Ensayos

Se extrajo la muestra de la cantera El Gavilán elegida por conveniencia, este material fue trasladado hacia el laboratorio de suelos – campus UPN Cajamarca, para realizar los ensayos para la investigación.

5.3.1. Análisis granulométrico

Para ser un material usado como afirmado debería estar dentro de un uso granulométrico, al realizar el primer ensayo de granulometría el material ingresaba al uso A-1 del MTC, la cual no es una gradación recomendada para estabilizar con cloruro de calcio, siendo el uso granulométrico más cercano el uso D según el MTC; para obtener un material con granulometría dentro del uso D se obtuvo arena gruesa de la misma cantera luego se determinó su granulometría y finalmente se hizo el cálculo de las proporciones para la mezcla. Para comprobar que la granulometría de la mezcla sea la adecuada se realizó un último ensayo con el material combinado; una vez verificada la granulometría se procedió a realizar el resto de ensayos con dicho material.

Foto 4. Tamizado del material.



Fuente: Elaboración propia, 2017.

5.3.2. Determinación del límite plástico e índice de plasticidad

Foto 5. Determinación del límite plástico e índice de plasticidad



Fuente: Elaboración propia, 2017.

5.3.3. Abrasión Los Ángeles

Foto 6. Ensayo de Abrasión Los Ángeles



Fuente: Elaboración propia, 2017.

5.3.4. Compactación del suelo en laboratorio usando la energía modificada

Foto 7. Compactación del suelo usando la energía modificada.



Fuente: Elaboración propia, 2017.

5.3.5. CBR de suelos

Foto 8. Ensayo de penetración.



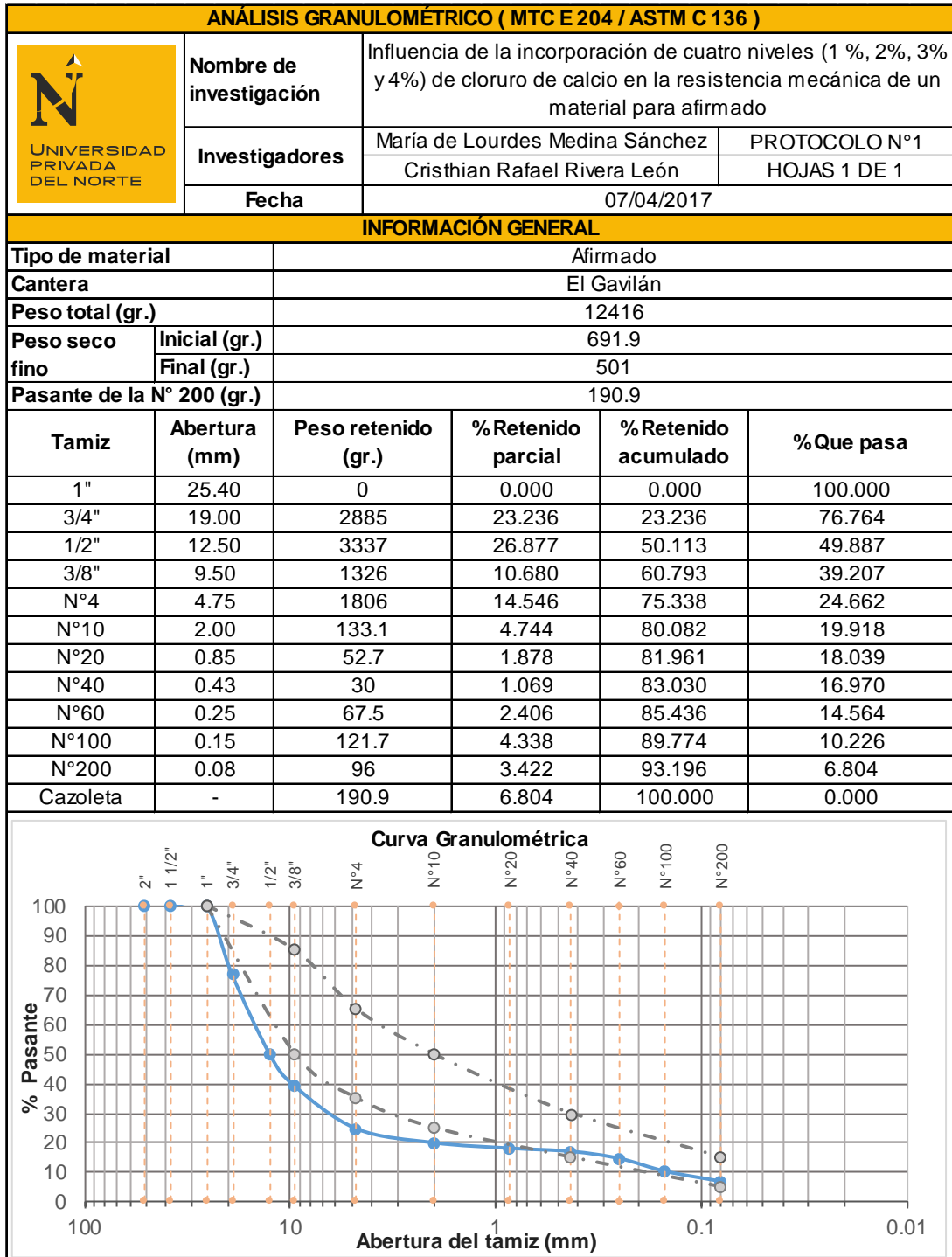
Fuente: Elaboración propia, 2017.

Para ser un material usado como afirmado debería estar dentro de un huso granulométrico, al realizar el primer ensayo de granulometría el material ingresaba al huso A-1 del MTC, la cual no es una gradación recomendada para estabilizar con cloruro de calcio, siendo el uso granulométrico más cercano el huso D según el MTC; para obtener un material con granulometría dentro del huso D se obtuvo arena gruesa de la misma cantera luego se determinó su granulometría y finalmente se hizo el cálculo de las proporciones para la mezcla.

Para comprobar que la granulometría de la mezcla sea la adecuada se realizó un último ensayo con el material combinado.

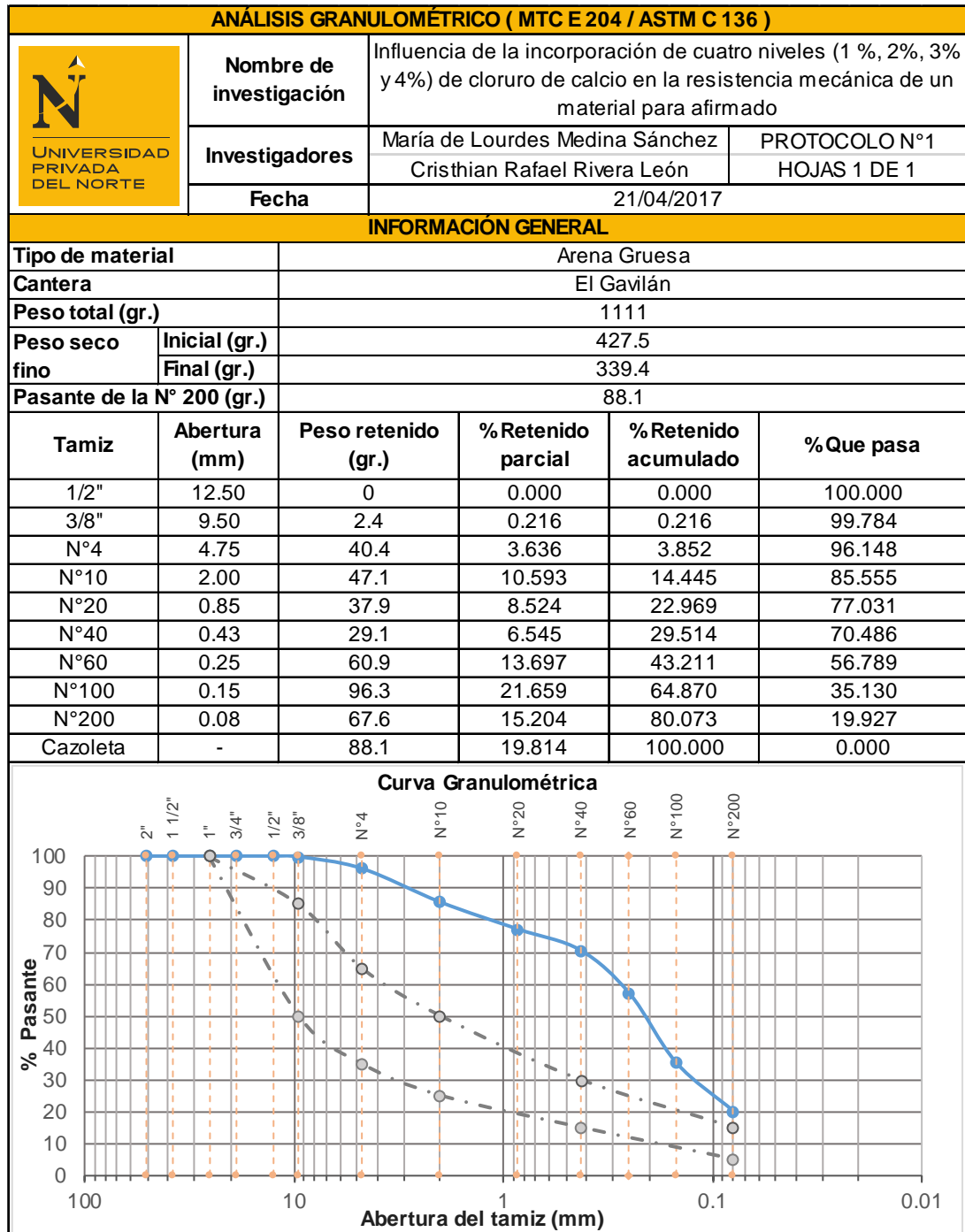
CAPÍTULO 6. RESULTADOS

6.1. Ensayo granulométrico del afirmado de la cantera El Gavilán



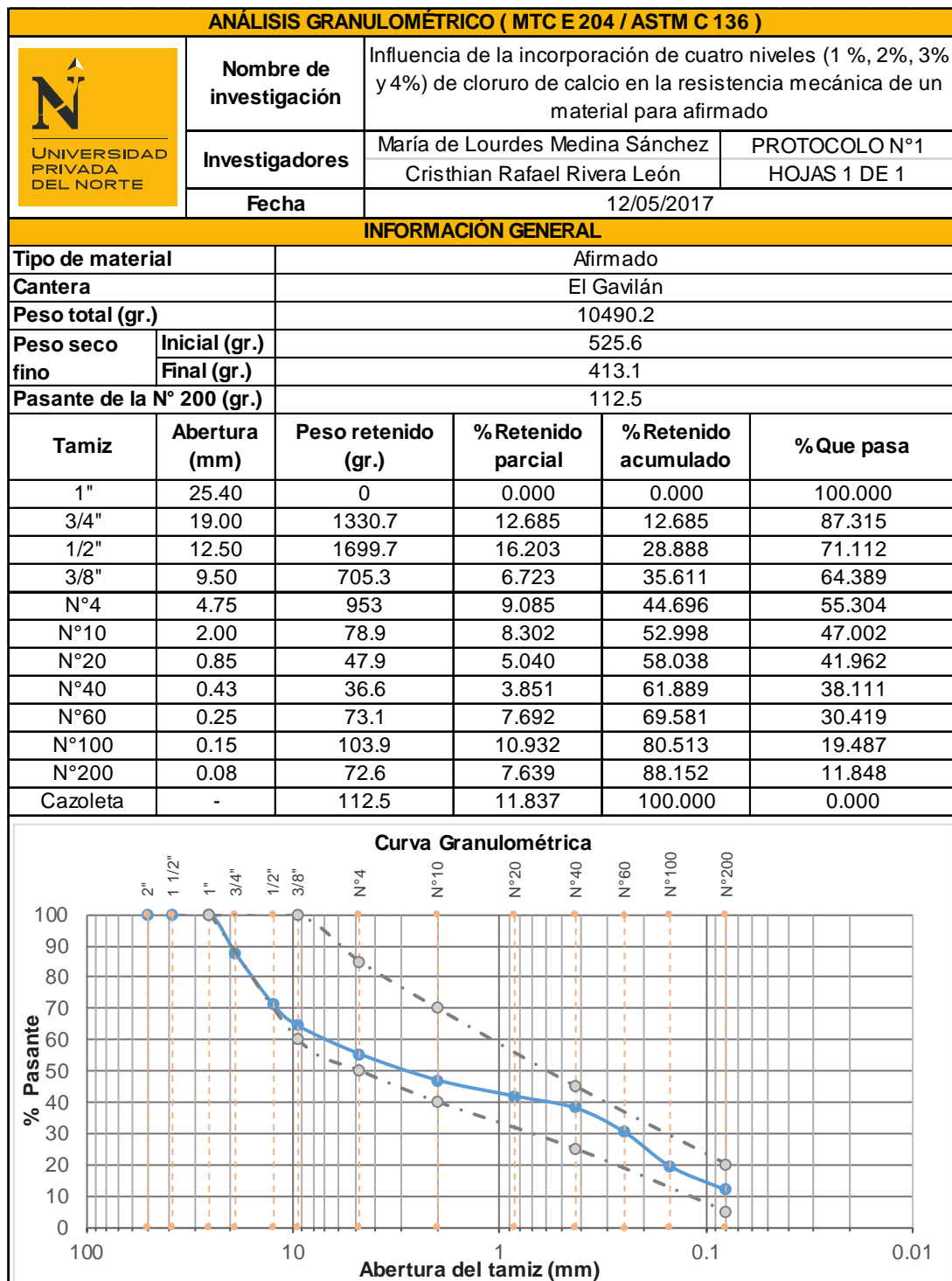
Fuente: Elaboración propia, 2017.

6.2. Ensayo granulométrico de la arena gruesa de la cantera El Gavilán




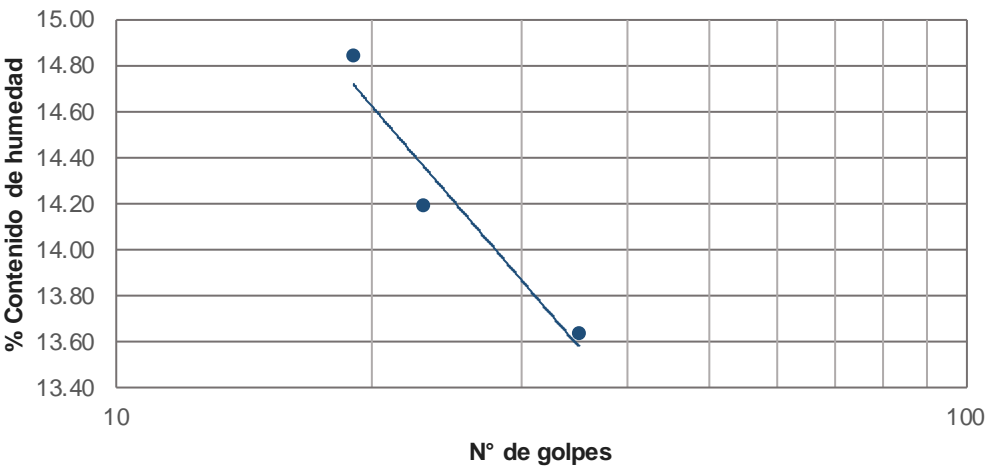
Fuente: Elaboración propia, 2017.

6.3. Ensayo granulométrico del afirmado (huso granulométrico D) de la cantera El Gavilán




Fuente: Elaboración propia, 2017.

6.4. Ensayo de límites de Atterberg

LÍMITE LÍQUIDO (MTC E 110 / ASTM D 4318) Y LÍMITE PLÁSTICO (MTC E 111 / ASTM D 4318)													
 UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE	Nombre de investigación	Influencia de la incorporación de tres niveles (1 %, 2% y 3%) de cloruro de calcio en la resistencia mecánica de un material para afirmado											
	Investigadores	María de Lourdes Medina Sánchez	PROTOCOLO N°2										
		Cristhian Rafael Rivera León	HOJAS 1 DE 1										
	Fecha	18/05/2017											
INFORMACIÓN GENERAL													
Tipo de material	Afirmado												
Cantera	El Gavilán												
Cantidad de muestra													
DATOS	LÍMITE LÍQUIDO			LÍMITE PLÁSTICO									
Peso de la tara Wt (gr.)	25.60	26.20	26.30										
Peso de la muestra húmeda + tara Wmh + t (gr.)	43.40	43.10	43.80										
Peso de la muestra seca + tara Wms + t (gr.)	41.10	41.00	41.70										
Peso del agua Ww (gr.)	2.30	2.10	2.10										
Peso de la muestra seca Wms (gr.)	15.50	14.80	15.40										
Contenido de humedad W%	14.84	14.19	13.64										
Numero de golpes	19.00	23.00	35.00	-									
LL - LP	14.20			-									
Índice de plasticidad	NO PLASTICO												
<p style="text-align: center;">Límite Líquido</p>  <table border="1"> <caption>Datos del Gráfico de Límite Líquido</caption> <thead> <tr> <th>N° de golpes</th> <th>% Contenido de humedad</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>19.00</td> <td>14.84</td> </tr> <tr> <td>23.00</td> <td>14.19</td> </tr> <tr> <td>35.00</td> <td>13.64</td> </tr> </tbody> </table>						N° de golpes	% Contenido de humedad	19.00	14.84	23.00	14.19	35.00	13.64
N° de golpes	% Contenido de humedad												
19.00	14.84												
23.00	14.19												
35.00	13.64												


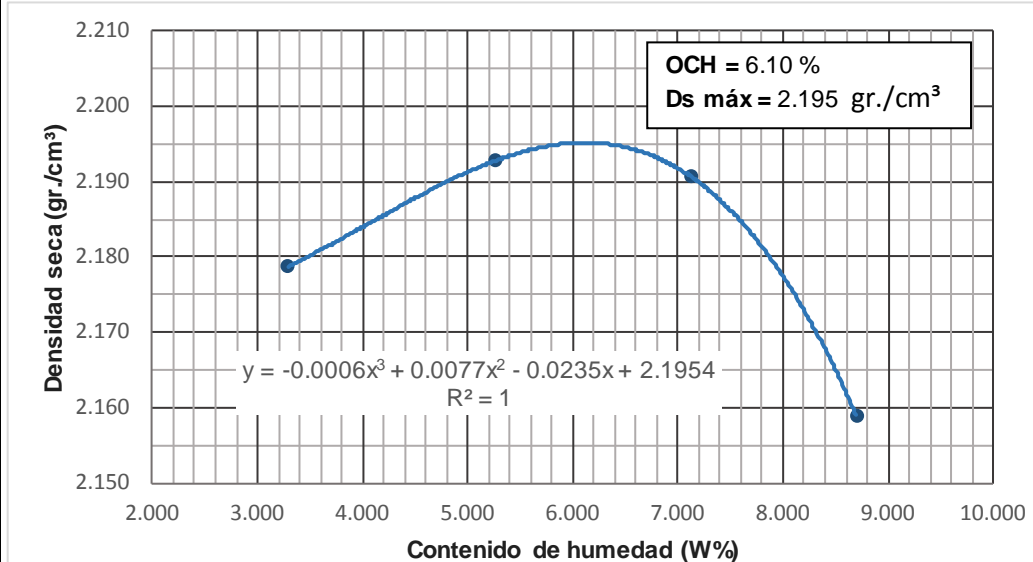
Fuente: Elaboración propia, 2017.

6.5. Ensayo de Abrasión Los Ángeles

ABRASIÓN LOS ÁNGELES (MTC E 207 / ASTM C 131)					
	Nombre de investigación	Influencia de la incorporación de cuatro niveles (1 %, 2%, 3% y 4%) de cloruro de calcio en la resistencia mecánica de un material para afirmado			
	Investigadores	Cristhian Rafael Rivera León	PROTOCOLO N°2		
		María de Lourdes Medina Sánchez	HOJAS 1 DE 1		
	Fecha	10/04/2017			
INFORMACIÓN GENERAL					
Tipo de material	Afirmado				
Cantera	El Gavilán				
GRANULOMETRÍA DEL ENSAYO					
Gradación	A	B	C	D	
Carga abrasiva (N° de esferas)	12	11	8	6	
GRANULOMETRÍA DE LA MUESTRA DE AGREGADOS PARA ENSAYO					
Pasa el tamiz	Retenido en el tamiz	A (gr.)	B (gr.)	C (gr.)	D (gr.)
1 1/2"	1"	1250 ± 25			
1"	3/4"	1250 ± 25			
3/4"	1/2"	1250 ± 10	2500 ± 10		
1/2"	3/8"	1250 ± 10	2500 ± 10		
3/8"	1/4"			2500 ± 10	
1/4"	N° 4			2500 ± 10	
N° 4	N° 8				5000 ± 10
Totales		5000 ± 10	5000 ± 10	5000 ± 10	5000 ± 10
DESGASTE A LA ABRASIÓN					
Pasa el tamiz	Retenido en el tamiz	A (gr.)	B (gr.)	C (gr.)	D (gr.)
1 1/2"	1"				
1"	3/4"				
3/4"	1/2"		2508.00		
1/2"	3/8"		2502.00		
3/8"	1/4"				
1/4"	N° 4				
N° 4	N° 8				
Totales		0.00	5010.00	0.00	0.00
Peso retenido en el tamiz N° 12	3345.00				
Coefficiente de desgaste a Los Angeles	33.23%				


Fuente: Elaboración propia, 2017.

6.6. Ensayo de compactación usando la energía modificada del afirmado de la cantera El Gavilán

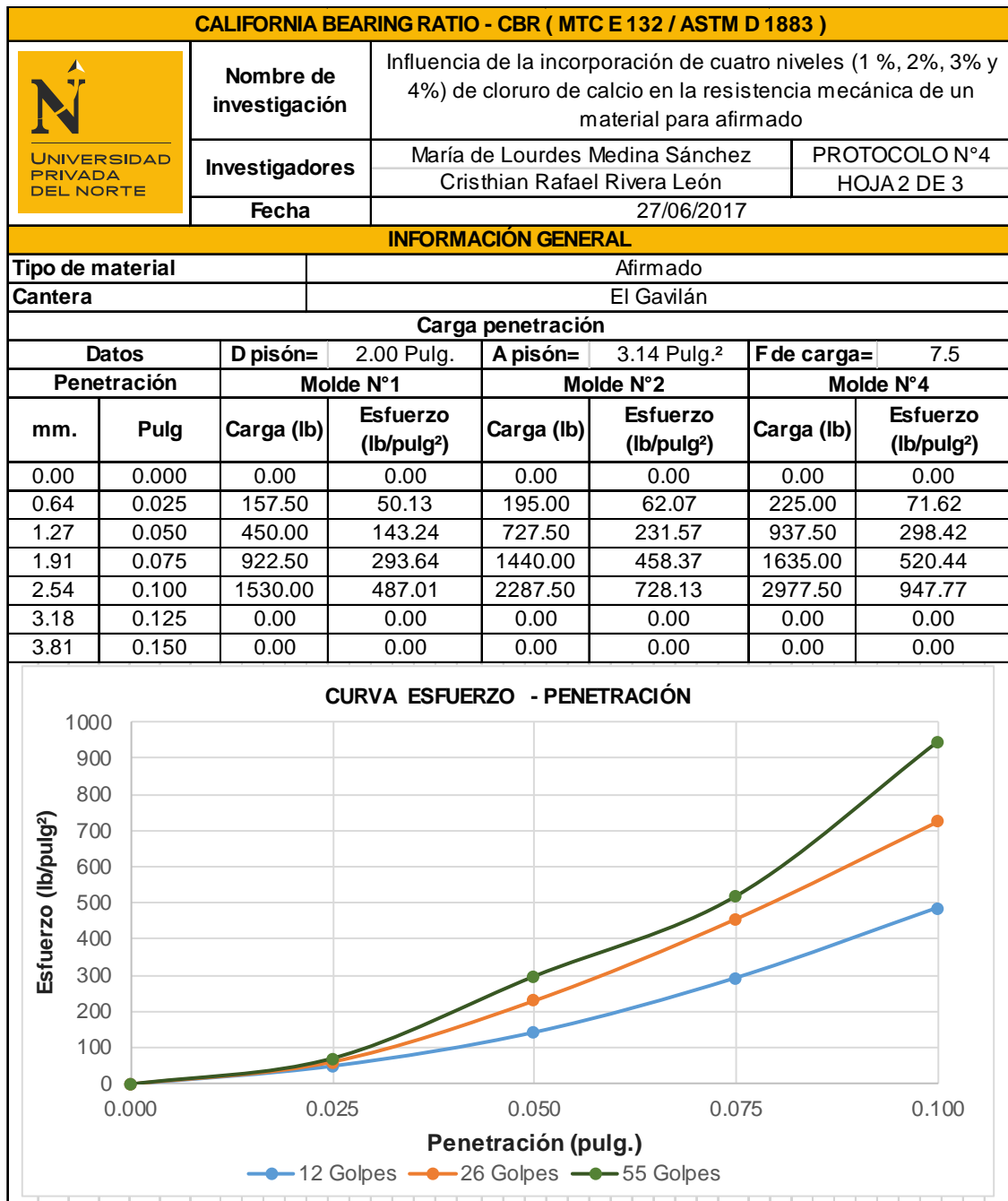
PROCTOR MODIFICADO (MTC E 115 / ASTM D 1557)									
	Nombre de investigación		Influencia de la incorporación de cuatro niveles (1 %, 2% y 3% y 4%) de cloruro de calcio en la resistencia mecánica de un material para afirmado						
	Investigadores		María de Lourdes Medina Sánchez			Cristhian Rafael Rivera León			PROTOCOLO N°3 HOJAS 1 DE 1
	Fecha		12/06/2017						
INFORMACIÓN GENERAL									
Tipo de material			Afirmado						
Cantera			El Gavilán						
Cantidad de muestra			24000 gr.						
Molde N°	Molde N°1	Molde N°2	Molde N°3	Molde N°4					
Peso molde (gr.)	6600.00	6600.00	6600.00	6600.00					
Wmh + molde (gr.)	11275.00	11395.00	11475.00	11475.00					
Whm (gr.)	4675.00	4795.00	4875.00	4875.00					
Vhm (cm ³)	2077.31	2077.31	2077.31	2077.31					
Dh (gr./cm ³)	2.251	2.308	2.347	2.347					
Recipiente N°	1	2	3	4	5	6	7	8	
Wt (gr.)	25.60	26.20	26.30	26.60	26.70	26.20	27.20	26.10	
Wmh + t (gr.)	241.20	259.40	263.10	271.40	286.00	293.40	348.80	324.50	
Wms + t (gr.)	234.30	252.00	251.40	259.00	267.70	276.70	321.60	302.00	
Ww (gr.)	6.90	7.40	11.70	12.40	18.30	16.70	27.20	22.50	
Wms (gr.)	208.70	225.80	225.10	232.40	241.00	250.50	294.40	275.90	
W (%)	3.31	3.28	5.20	5.34	7.59	6.67	9.24	8.16	
W promedio (%)	3.292		5.267		7.130		8.697		
Ds (gr./cm ³)	2.179		2.193		2.191		2.159		
									

Fuente: Elaboración propia, 2017.


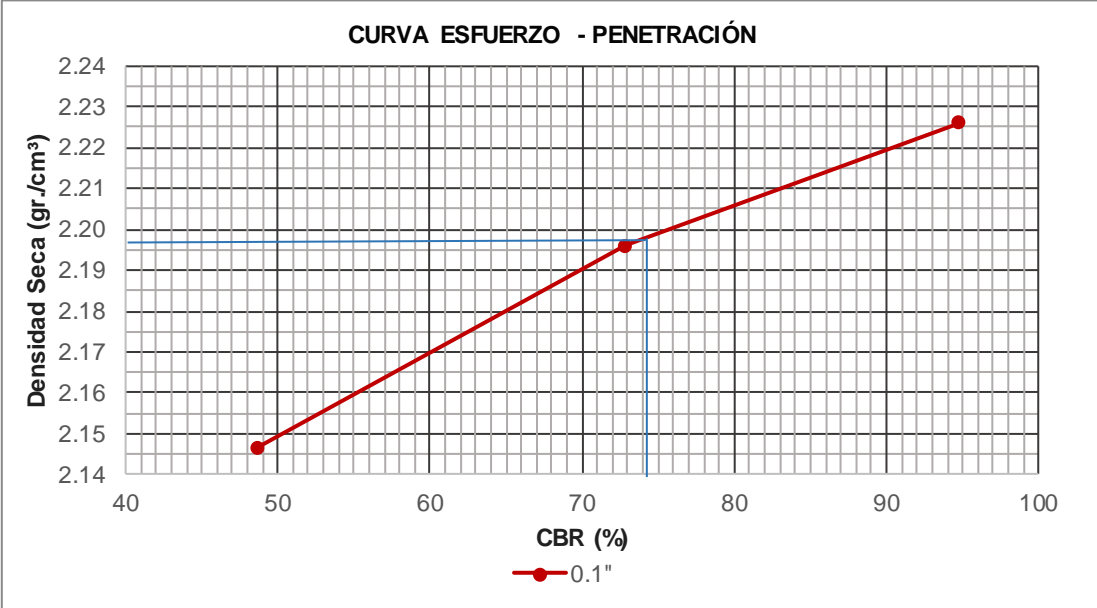
6.7. Ensayo de CBR del afirmado de la cantera El Gavilán

CALIFORNIA BEARING RATIO - CBR (MTC E 132 / ASTM D 1883)											
		Nombre de investigación		Influencia de la incorporación de cuatro niveles (1 %, 2%, 3% y 4%) de cloruro de calcio en la resistencia mecánica de un material para afirmado							
		Investigadores		María de Lourdes Medina Sánchez			PROTOCOLO N°4				
		Fecha		Cristhian Rafael Rivera León			HOJA 1 DE 3				
				27/06/2017							
INFORMACIÓN GENERAL											
Tipo de material				Afirmado							
Cantera				El Gavilán							
Molde N°		Molde N°1		Molde N°2		Molde N°3					
N° de capas		5		5		5					
N° de golpes		12		26		55					
Condición de la muestra		sin saturar saturado		sin saturar saturado		sin saturar		saturado			
Peso molde (gr.)		7635 7635		7675 7675		7480		7480			
Wmh + molde (gr.)		12815 12840		12940 12965		12825		12845			
Wmh (gr.)		5180 5205		5265 5290		5345		5365			
Vhm (cm ³)		2262.94 2262.94		2262.94 2262.94		2262.94		2262.94			
Dh (gr./cm ³)		2.29 2.30		2.33 2.34		2.36		2.37			
Contenido de humedad											
Recipiente N°		1	2	3	4	5	6	7	8	9	
Wt (gr.)		25.60	26.20	26.30	26.60	26.70	26.20	27.20	26.10	27.00	
Wmh + t (gr.)		209.40	216.90	225.20	222.70	227.90	210.30	221.80	202.50	241.90	
Wms + t (gr.)		197.90	205.10	210.60	211.90	216.40	198.20	211.00	192.00	228.10	
Ww (gr.)		11.50	11.80	14.60	10.80	11.50	12.10	10.80	10.50	13.80	
Wms (gr.)		172.30	178.90	184.30	185.30	189.70	172.00	183.80	165.90	201.10	
W (%)		6.67	6.60	7.92	5.83	6.06	7.03	5.88	6.33	6.86	
W promedio (%)		6.64		7.92	5.95		7.03	6.10		6.86	
Ds (gr./cm ³)		2.147			2.196			2.226			
Hinchamiento											
Tiempo acumulado		Molde N°1		Molde N°2		Molde N°4					
		Hinchamiento		Hinchamiento		Hinchamiento					
Horas	Días	mm.	%	mm.	%	mm.	%	mm.	%		

Fuente: Elaboración propia, 2017.

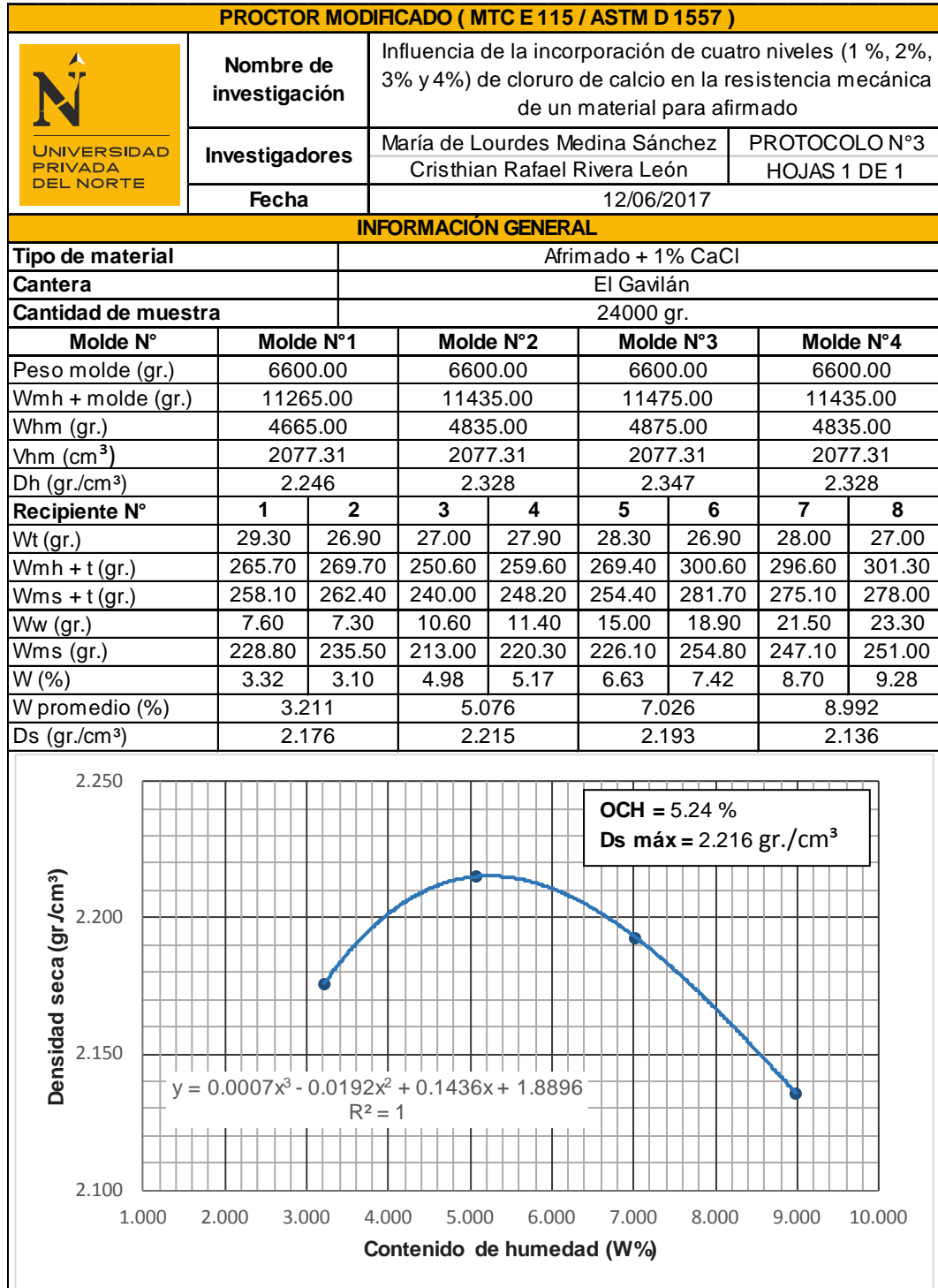


Fuente: Elaboración propia, 2017.

CALIFORNIA BEARING RATIO - CBR (MTC E 132 / ASTM D 1883)			
	Nombre de investigación	Influencia de la incorporación de cuatro niveles (1 %, 2%, 3% y 4%) de cloruro de calcio en la resistencia mecánica de un material para afirmado	
	Investigadores	María de Lourdes Medina Sánchez Cristhian Rafael Rivera León	PROTOCOLO N°4 HOJA 3 DE 3
	Fecha	27/06/2017	
INFORMACIÓN GENERAL			
Tipo de material	Afirmado		
Cantera	El Gavilán		
Esfuerzos para 0.1" de penetración, CBR y densidad seca			
Molde N°	Molde N°1	Molde N°2	Molde N°3
Penetración (Pulg.)	0.1"	0.1"	0.1"
Esfuerzo del suelo (lb/pulg²)	487.01	728.13	947.77
Esfuerzo patrón (lb/pulg²)	1000	1000	1000
CBR (%)	48.70	72.81	94.78
Ds (gr./cm³)	2.147	2.196	2.226
CURVA ESFUERZO - PENETRACIÓN			
			
Resultados			
Máxima densidad seca (gr./cm³)	2.195		
CBR 0.1" (%)	74%		


Fuente: Elaboración propia, 2017.

6.8. Ensayo de compactación usando la energía modificada del afirmado de la cantera El Gavilán + 1% CaCl

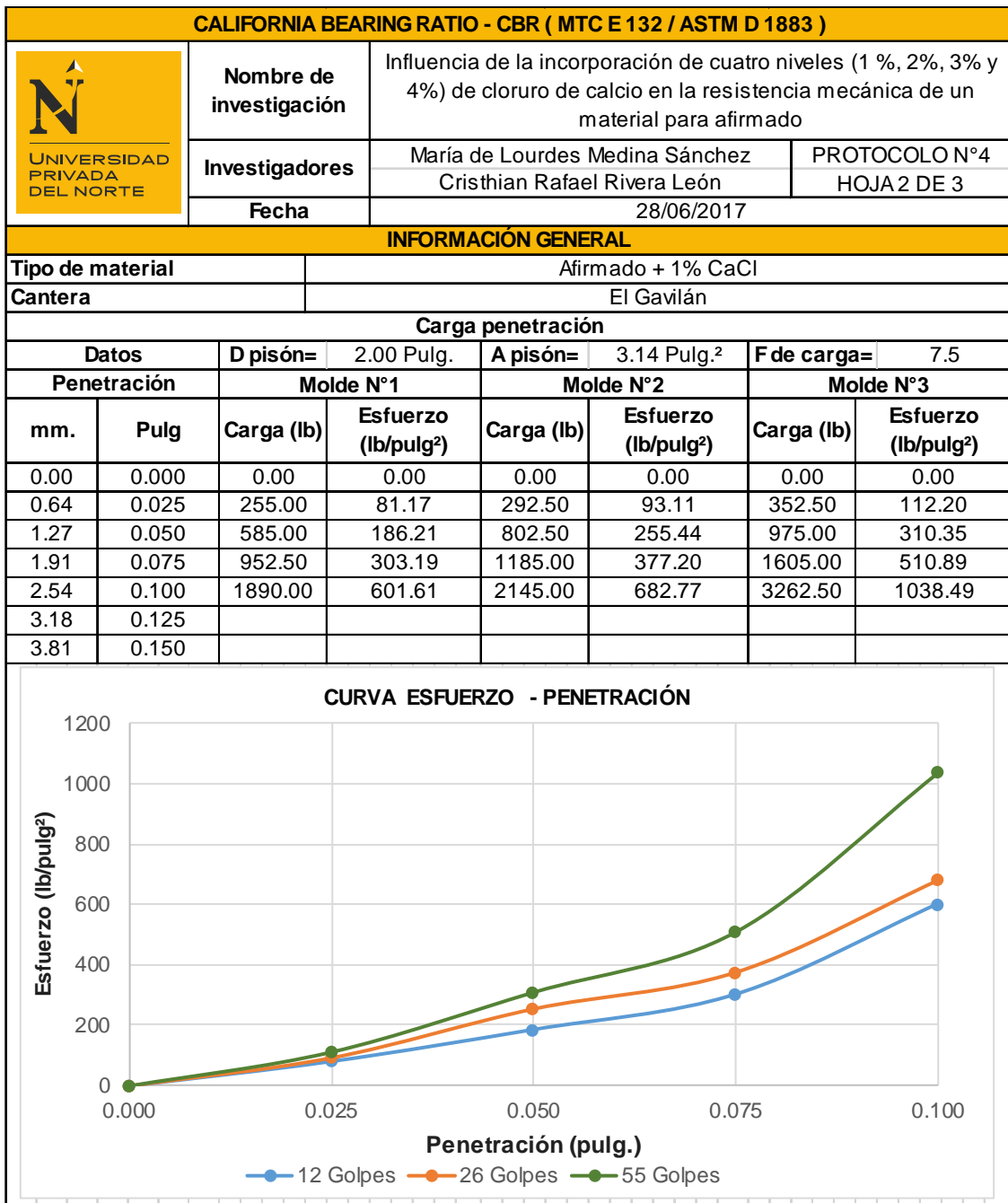


Fuente: Elaboración propia, 2017.


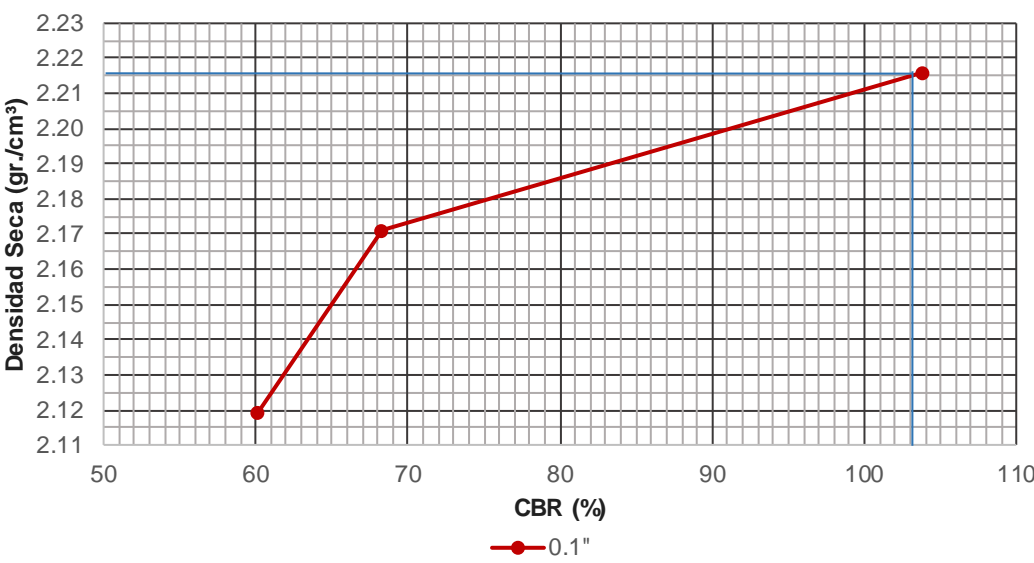
6.9. Ensayo de CBR del afirmado de la cantera El Gavilán + 1% CaCl

CALIFORNIA BEARING RATIO - CBR (MTC E 132 / ASTM D 1883)											
		Nombre de investigación		Influencia de la incorporación de cuatro niveles (1 %, 2%, 3% y 4%) de cloruro de calcio en la resistencia mecánica de un material para afirmado							
		Investigadores		María de Lourdes Medina Sánchez			PROTOCOLO N°4				
		Fecha		Cristhian Rafael Rivera León			HOJA 1 DE 3				
INFORMACIÓN GENERAL											
Tipo de material		Afirmado + 1% CaCl									
Cantera		El Gavilán									
Molde N°		Molde N°1		Molde N°2		Molde N°3					
N° de capas		5		5		5					
N° de golpes		12		26		55					
Condición de la muestra		sin saturar	saturado	sin saturar	saturado	sin saturar	saturado				
Peso molde (gr.)		7635	7635	7675	7675	7480	7480				
Wmh + molde (gr.)		12680	12815	12825	12930	12745	12810				
Wmh (gr.)		5045	5180	5150	5255	5265	5330				
Vhm (cm ³)		2262.94	2262.94	2262.94	2262.94	2262.94	2262.94				
Dh (gr./cm ³)		2.23	2.29	2.28	2.32	2.33	2.36				
Contenido de humedad											
Recipiente N°		1	2	3	4	5	6	7	8	9	
Wt (gr.)		26.90	28.00	27.00	27.00	27.90	28.30	27.50	29.30	26.90	
Wmh + t (gr.)		226.80	254.00	225.70	202.20	189.80	236.70	216.30	230.80	226.80	
Wms + t (gr.)		217.30	242.40	212.40	194.30	182.20	223.20	207.60	220.90	213.70	
Ww (gr.)		9.50	11.60	13.30	7.90	7.60	13.50	8.70	9.90	13.10	
Wms (gr.)		190.40	214.40	185.40	167.30	154.30	194.90	180.10	191.60	186.80	
W (%)		4.99	5.41	7.17	4.72	4.93	6.93	4.83	5.17	7.01	
W promedio (%)		5.20		7.17	4.82		6.93	5.00		7.01	
Ds (gr./cm ³)		2.119			2.171			2.216			
Hinchamiento											
Tiempo acumulado		Molde N°1		Molde N°2		Molde N°4					
Horas Días		Hinchamiento		Hinchamiento		Hinchamiento					
		mm.	%	mm.	%	mm.	%	mm.	%		

Fuente: Elaboración propia, 2017.


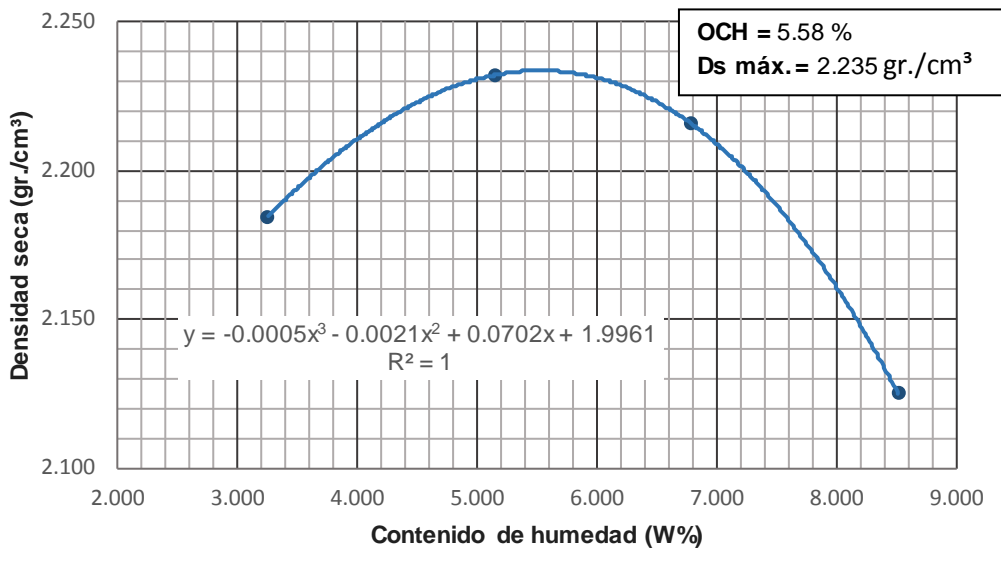


Fuente: Elaboración propia, 2017.

CALIFORNIA BEARING RATIO - CBR (MTC E 132 / ASTM D 1883)			
 UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE	Nombre de investigación	Influencia de la incorporación de cuatro niveles (1 %, 2%, 3% y 4%) de cloruro de calcio en la resistencia mecánica de un material para afirmado	
	Investigadores	María de Lourdes Medina Sánchez Cristhian Rafael Rivera León	PROTOCOLO N°4 HOJA 3 DE 3
	Fecha	28/06/2017	
INFORMACIÓN GENERAL			
Tipo de material	Afirmado + 1% CaCl		
Cantera	El Gavilán		
Esfuerzos para 0.1" de penetración, CBR y densidad seca			
Molde N°	Molde N°1	Molde N°2	Molde N°3
Penetración (Pulg.)	0.1"	0.1"	0.1"
Esfuerzo del suelo (lb/pulg²)	601.61	682.77	1038.49
Esfuerzo patrón (lb/pulg²)	1000	1000	1000
CBR (%)	60.16	68.28	103.85
Ds (gr./cm³)	2.12	2.17	2.22
CURVA ESFUERZO - PENETRACIÓN 			
Resultados			
Máxima densidad seca (gr./cm³)	2.216		
CBR 0.1" (%)	103 %		


Fuente: Elaboración propia, 2017.

6.10. Ensayo de compactación usando la energía modificada del afirmado de la cantera El Gavilán + 2% CaCl

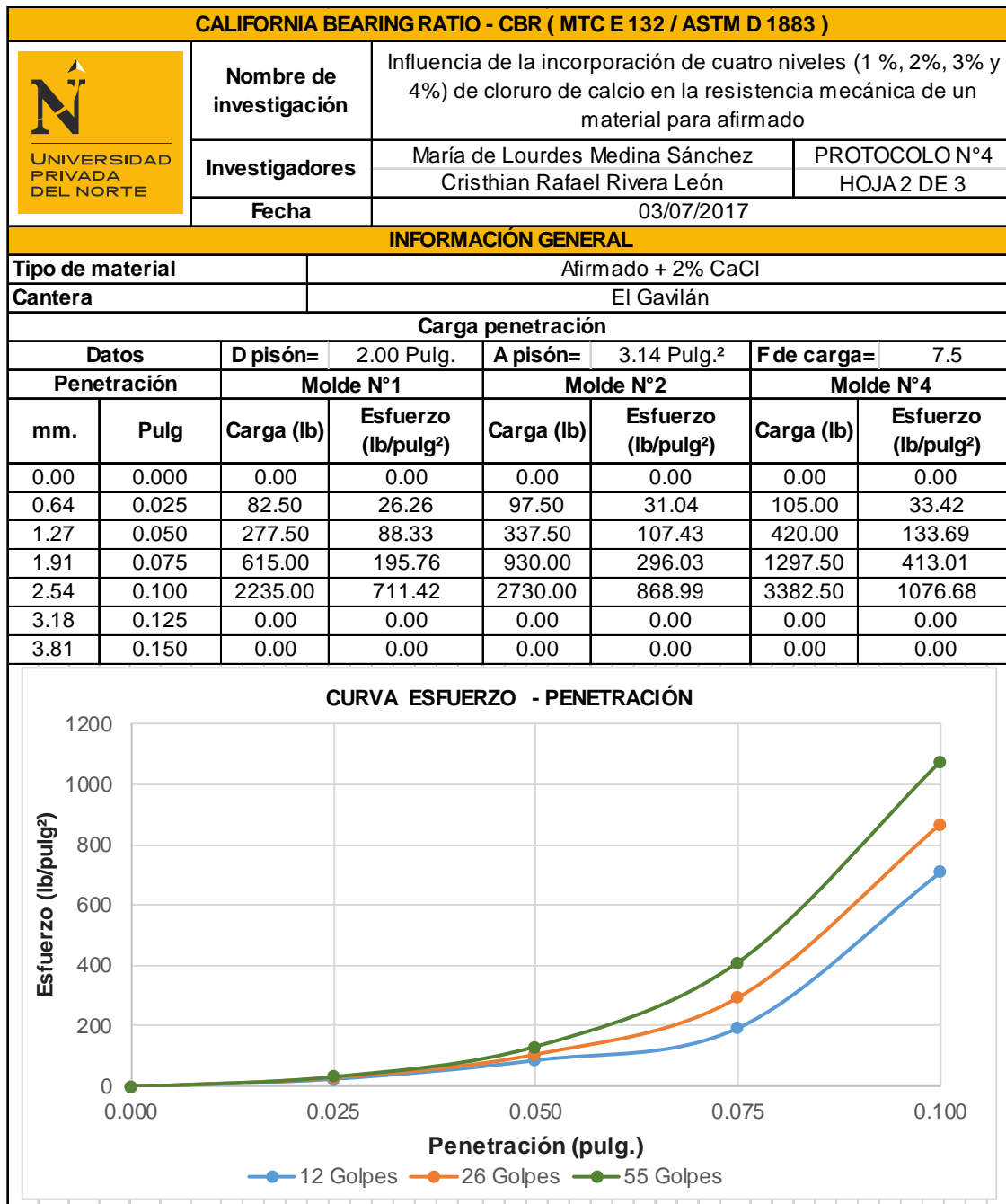
PROCTOR MODIFICADO (MTC E 115 / ASTM D 1557)									
 UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE	Nombre de investigación		Influencia de la incorporación de cuatro niveles (1 %, 2%, 3% y 4%) de cloruro de calcio en la resistencia mecánica de un material para afirmado						
	Investigadores		María de Lourdes Medina Sánchez			Cristhian Rafael Rivera León			PROTOCOLO N°3 HOJAS 1 DE 1
	Fecha		13/06/2017						
INFORMACIÓN GENERAL									
Tipo de material			Afirmado + 2% CaCl						
Cantera			El Gavilán						
Cantidad de muestra			24000 gr.						
Molde N°	Molde N°1	Molde N°2	Molde N°3	Molde N°4					
Peso molde (gr.)	6600.00	6600.00	6600.00	6600.00					
Wmh + molde (gr.)	11285.00	11475.00	11515.00	11390.00					
Whm (gr.)	4685.00	4875.00	4915.00	4790.00					
Vhm (cm ³)	2077.31	2077.31	2077.31	2077.31					
Dh (gr./cm ³)	2.255	2.347	2.366	2.306					
Recipiente N°	1	2	3	4	5	6	7	8	
Wt (gr.)	25.60	26.20	26.30	26.60	26.70	26.20	27.20	26.10	
Wmh + t (gr.)	278.50	282.50	274.40	292.70	299.10	279.20	362.50	337.90	
Wms + t (gr.)	270.50	274.50	261.80	280.20	281.10	263.80	335.40	314.20	
Ww (gr.)	8.00	8.00	12.60	12.50	18.00	15.40	27.10	23.70	
Wms (gr.)	244.90	248.30	235.50	253.60	254.40	237.60	308.20	288.10	
W (%)	3.27	3.22	5.35	4.93	7.08	6.48	8.79	8.23	
W promedio (%)	3.244		5.140		6.778		8.510		
Ds (gr./cm ³)	2.184		2.232		2.216		2.125		
 <p>OCH = 5.58 % Ds máx. = 2.235 gr./cm³</p> <p>$y = -0.0005x^3 - 0.0021x^2 + 0.0702x + 1.9961$ $R^2 = 1$</p>									

Fuente: Elaboración propia, 2017.


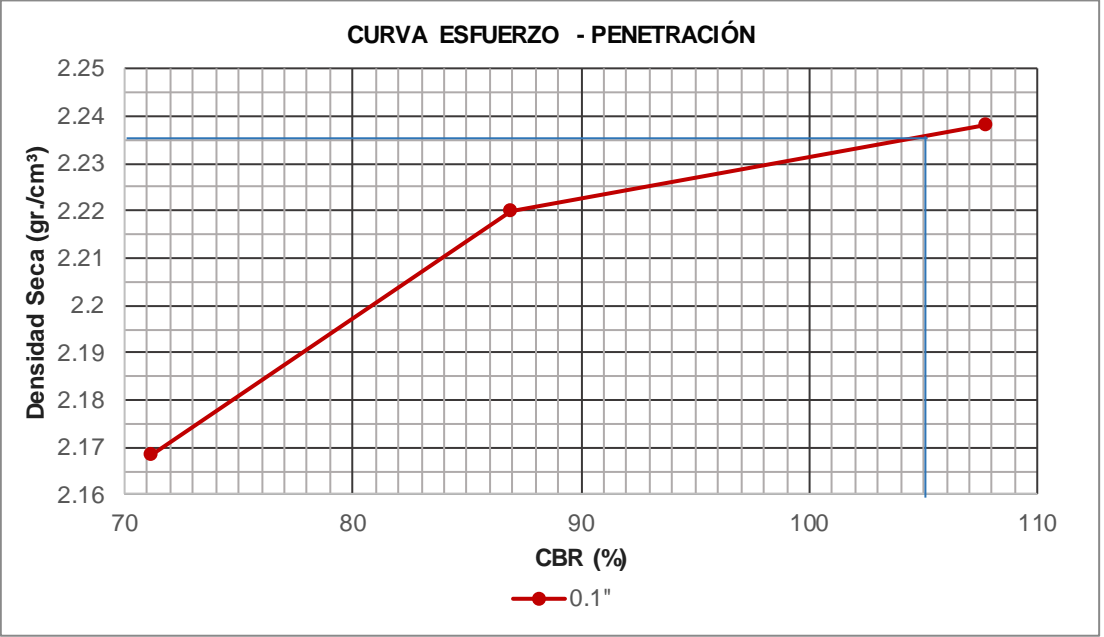
6.11. Ensayo de CBR del afirmado de la cantera El Gavilán + 2% CaCl

CALIFORNIA BEARING RATIO - CBR (MTC E 132 / ASTM D 1883)											
	Nombre de investigación		Influencia de la incorporación de cuatro niveles (1 %, 2%, 3% y 4%) de cloruro de calcio en la resistencia mecánica de un material para afirmado								
	Investigadores		María de Lourdes Medina Sánchez Cristhian Rafael Rivera León				PROTOCOLO N°4 HOJA 1 DE 3				
	Fecha		03/07/2017								
INFORMACIÓN GENERAL											
Tipo de material		Afirmado + 2% CaCl									
Cantera		El Gavilán									
Molde N°		Molde N°1		Molde N°2		Molde N°3					
N° de capas		5		5		5					
N° de golpes		12		26		55					
Condición de la muestra		sin saturar		saturado		sin saturar		saturado			
Peso molde (gr.)		7635		7635		7675		7675			
Wmh + molde (gr.)		12795		12875		12980		13040			
Wmh (gr.)		5160		5240		5305		5365			
Vhm (cm ³)		2262.94		2262.94		2262.94		2262.94			
Dh (gr./cm ³)		2.28		2.32		2.34		2.37			
Contenido de humedad											
Recipiente N°		1	2	3	4	5	6	7	8	9	
Wt (gr.)		25.60	26.20	26.30	26.60	26.70	26.20	27.20	26.10	27.00	
Wmh + t (gr.)		207.60	201.40	219.70	191.60	180.20	216.50	229.70	200.10	243.40	
Wms + t (gr.)		198.30	193.20	205.70	182.80	172.10	202.30	219.40	191.00	230.30	
Ww (gr.)		9.30	8.20	14.00	8.80	8.10	14.20	10.30	9.10	13.10	
Wms (gr.)		172.70	167.00	179.40	156.20	145.40	176.10	192.20	164.90	203.30	
W (%)		5.39	4.91	7.80	5.63	5.57	8.06	5.36	5.52	6.44	
W promedio (%)		5.15		7.80		5.60		8.06		5.44	
Ds (gr./cm ³)		2.169			2.220			2.238			
Hinchamiento											
Tiempo acumulado		Molde N°1			Molde N°2			Molde N°4			
Horas	Dias	Hinchamiento			Hinchamiento			Hinchamiento			
		mm.	%		mm.	%		mm.	%		

Fuente: Elaboración propia, 2017.


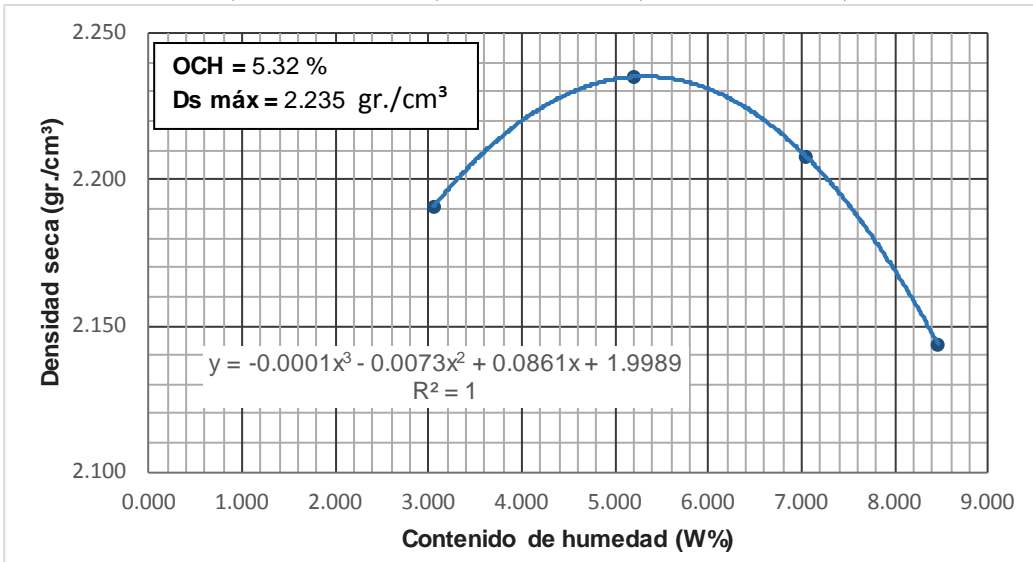


Fuente: Elaboración propia, 2017.

CALIFORNIA BEARING RATIO - CBR (MTC E 132 / ASTM D 1883)			
	Nombre de investigación	Influencia de la incorporación de cuatro niveles (1 %, 2%, 3% y 4%) de cloruro de calcio en la resistencia mecánica de un material para afirmado	
	Investigadores	María de Lourdes Medina Sánchez Cristhian Rafael Rivera León	PROTOCOLO N°4 HOJA 3 DE 3
	Fecha	03/07/2017	
INFORMACIÓN GENERAL			
Tipo de material	Afirmado + 2% CaCl		
Cantera	El Gavilán		
Esfuerzos para 0.1" de penetración, CBR y densidad seca			
Molde N°	Molde N°1	Molde N°2	Molde N°3
Penetración (Pulg.)	0.1"	0.1"	0.1"
Esfuerzo del suelo (lb/pulg²)	711.42	868.99	1076.68
Esfuerzo patrón (lb/pulg²)	1000	1000	1000
CBR (%)	71.14	86.90	107.67
Ds (gr./cm³)	2.17	2.22	2.24
CURVA ESFUERZO - PENETRACIÓN			
			
Resultados			
Máxima densidad seca (gr./cm³)	2.235		
CBR 0.1" (%)	105.0 %		


Fuente: Elaboración propia, 2017.

6.12. Ensayo de compactación usando la energía modificada del afirmado de la cantera El Gavilán + 3% CaCl

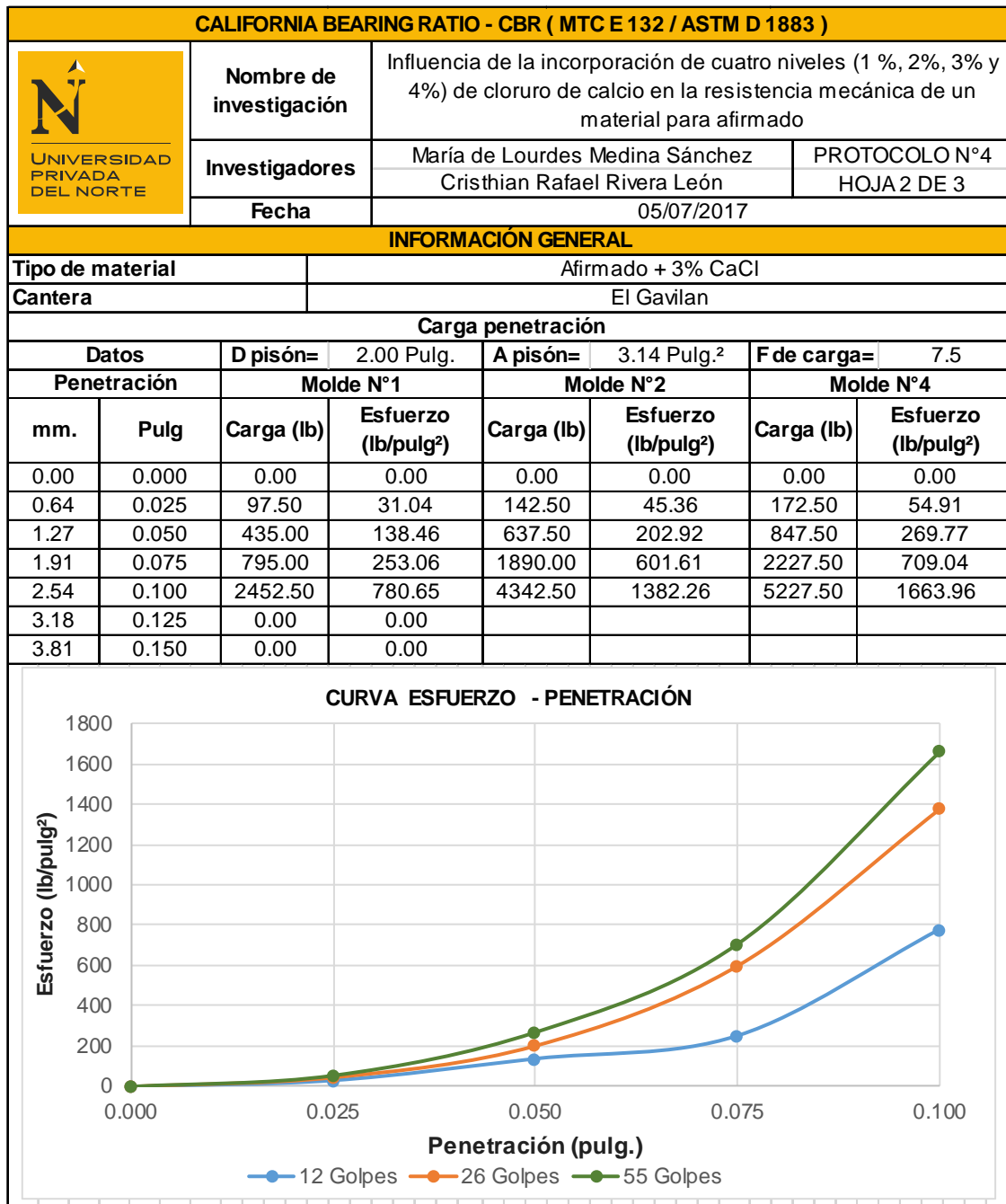
PROCTOR MODIFICADO (MTC E 115 / ASTM D 1557)									
	Nombre de investigación		Influencia de la incorporación de cuatro niveles (1 %, 2%, 3% y 4%) de cloruro de calcio en la resistencia mecánica de un material para afirmado						
	Investigadores		María de Lourdes Medina Sánchez			Cristhian Rafael Rivera León			PROTOCOLO N°3 HOJAS 1 DE 1
	Fecha		13/06/2017						
INFORMACIÓN GENERAL									
Tipo de material			Afirmado + 3% CaCl						
Cantera			El Gavilán						
Cantidad de muestra			24000 gr.						
Molde N°	Molde N°1	Molde N°2	Molde N°3	Molde N°4					
Peso molde (gr.)	6600.00	6600.00	6600.00	6600.00					
Wmh + molde (gr.)	11290.00	11485.00	11510.00	11430.00					
Whm (gr.)	4690.00	4885.00	4910.00	4830.00					
Vhm (cm ³)	2077.31	2077.31	2077.31	2077.31					
Dh (gr./cm ³)	2.258	2.352	2.364	2.325					
Recipiente N°	1	2	3	4	5	6	7	8	
Wt (gr.)	29.30	26.90	27.00	27.90	28.30	26.90	28.00	27.00	
Wmh + t (gr.)	262.70	259.40	255.30	270.50	274.80	266.90	325.20	287.00	
Wms + t (gr.)	255.60	252.70	243.80	258.70	259.30	250.40	301.10	267.50	
Ww (gr.)	7.10	6.70	11.50	11.80	15.50	16.50	24.10	19.50	
Wms (gr.)	226.30	225.80	216.80	230.80	231.00	223.50	273.10	240.50	
W (%)	3.14	2.97	5.30	5.11	6.71	7.38	8.82	8.11	
W promedio (%)	3.052		5.209		7.046		8.466		
Ds (gr./cm ³)	2.191		2.235		2.208		2.144		
									

Fuente: Elaboración propia, 2017.


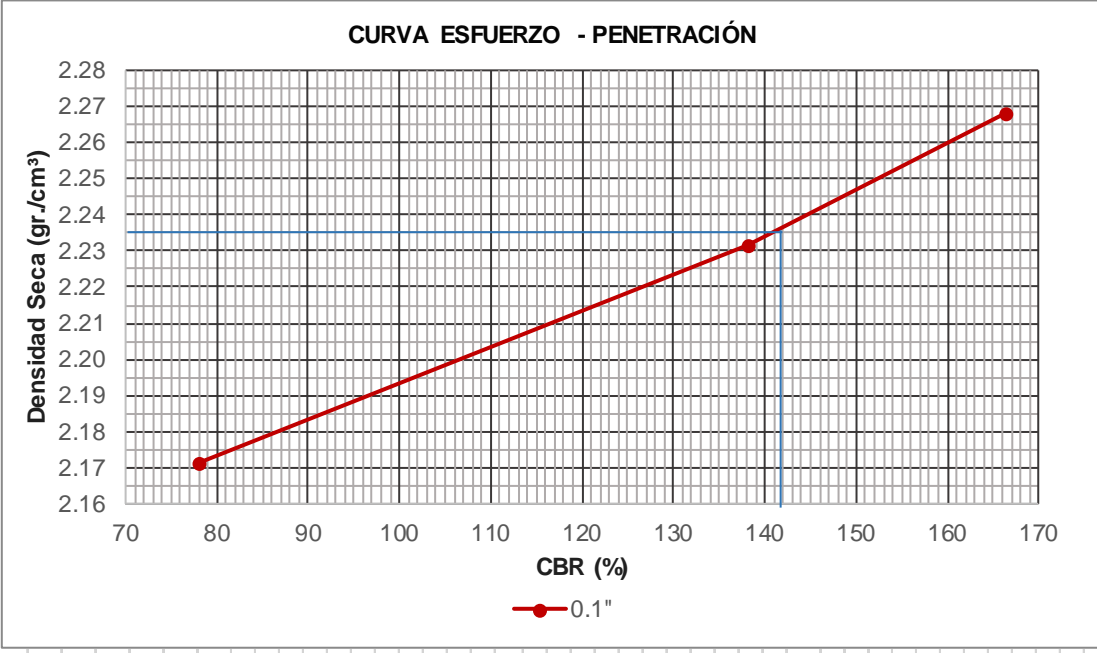
6.13. Ensayo de CBR del afirmado de la cantera El Gavilán + 3% CaCl

CALIFORNIA BEARING RATIO - CBR (MTC E 132 / ASTM D 1883)											
		Nombre de investigación		Influencia de la incorporación de cuatro niveles (1 %, 2%, 3% y 4%) de cloruro de calcio en la resistencia mecánica de un material para afirmado							
		Investigadores		María de Lourdes Medina Sánchez			PROTOCOLO N°4				
				Cristhian Rafael Rivera León			HOJA 1 DE 3				
		Fecha		05/07/2017							
INFORMACIÓN GENERAL											
Tipo de material			Afirmado + 3% CaCl								
Cantera			El Gavilán								
Molde N°		Molde N°1		Molde N°2		Molde N°3					
N° de capas		5		5		5					
N° de golpes		12		26		55					
Condición de la muestra		sin saturar	saturado	sin saturar	saturado	sin saturar	saturado				
Peso molde (gr.)		7635	7635	7675	7675	7480	7480				
Wmh + molde (gr.)		12830	12945	12980	13030	12880	12915				
Wmh (gr.)		5195	5310	5305	5355	5400	5435				
Vhm (cm ³)		2262.94	2262.94	2262.94	2262.94	2262.94	2262.94				
Dh (gr./cm ³)		2.30	2.35	2.34	2.37	2.39	2.40				
Contenido de humedad											
Recipiente N°		1	2	3	4	5	6	7	8	9	
Wt (gr.)		27.50	29.30	25.60	27.00	27.90	26.20	26.90	28.00	26.70	
Wmh + t (gr.)		229.30	238.60	277.40	265.00	226.90	237.10	239.90	235.80	191.50	
Wms + t (gr.)		218.20	227.40	259.20	253.90	217.00	224.10	229.40	225.40	180.90	
Ww (gr.)		11.10	11.20	18.20	11.10	9.90	13.00	10.50	10.40	10.60	
Wms (gr.)		190.70	198.10	233.60	226.90	189.10	197.90	202.50	197.40	154.20	
W (%)		5.82	5.65	7.79	4.89	5.24	6.57	5.19	5.27	6.87	
W promedio (%)		5.74		7.79	5.06		6.57	5.23		6.87	
Ds (gr./cm ³)		2.171			2.231			2.268			
Hinchamiento											
Tiempo acumulado		Molde N°1		Molde N°2		Molde N°4					
		Hinchamiento		Hinchamiento		Hinchamiento					
Horas	Dias	mm.	%	mm.	%	mm.	%				

Fuente: Elaboración propia, 2017.




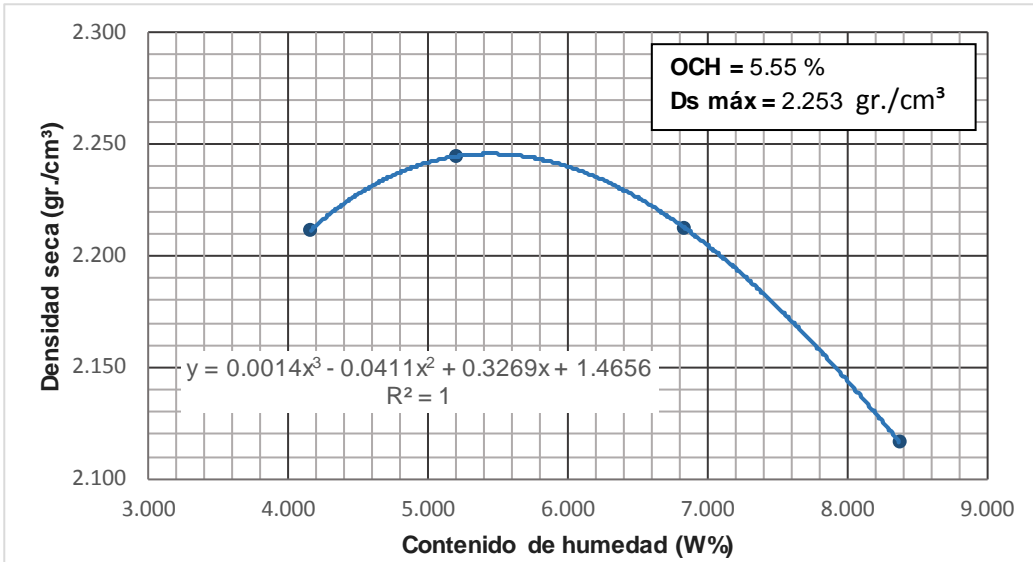
Fuente: Elaboración propia, 2017.

CALIFORNIA BEARING RATIO - CBR (MTC E 132 / ASTM D 1883)			
	Nombre de investigación	Influencia de la incorporación de cuatro niveles (1 %, 2%, 3% y 4%) de cloruro de calcio en la resistencia mecánica de un material para afirmado	
	Investigadores	María de Lourdes Medina Sánchez Cristhian Rafael Rivera León	PROTOCOLO N°4 HOJA 3 DE 3
	Fecha	05/07/2017	
INFORMACIÓN GENERAL			
Tipo de material	Afirmado + 3% CaCl		
Cantera	El Gavilán		
Esfuerzos para 0.1" de penetración, CBR y densidad seca			
Molde N°	Molde N°1	Molde N°2	Molde N°3
Penetración (Pulg.)	0.1"	0.1"	0.1"
Esfuerzo del suelo (lb/pulg²)	780.65	1382.26	1663.96
Esfuerzo patrón (lb/pulg²)	1000	1000	1000
CBR (%)	78.07	138.23	166.40
Ds (gr./cm³)	2.17	2.23	2.27
			
Resultados			
Máxima densidad seca (gr./cm³)	2.235		
CBR 0.1" (%)	142%		

Fuente: Elaboración propia, 2017.


6.14. Ensayo de compactación usando la energía modificada del afirmado de la cantera El Gavilán + 4% CaCl

PROCTOR MODIFICADO (MTC E 115 / ASTM D 1557)								
	Nombre de investigación		Influencia de la incorporación de cuatro niveles (1 %, 2%, 3% y 4%) de cloruro de calcio en la resistencia mecánica de un material para afirmado					
	Investigadores		María de Lourdes Medina Sánchez			PROTOCOLO N°3		
			Cristhian Rafael Rivera León			HOJAS 1 DE 1		
Fecha		19/06/2017						
INFORMACIÓN GENERAL								
Tipo de material			Afirmado + 4% CaCl					
Cantera			El Gavilán					
Cantidad de muestra			24000 gr.					
Molde N°	Molde N°1	Molde N°2	Molde N°3	Molde N°4				
Peso molde (gr.)	6595.00	6595.00	6595.00	6595.00				
Wmh + molde (gr.)	11380.00	11500.00	11505.00	11360.00				
Whm (gr.)	4785.00	4905.00	4910.00	4765.00				
Vhm (cm ³)	2077.31	2077.31	2077.31	2077.31				
Dh (gr./cm ³)	2.303	2.361	2.364	2.294				
Recipiente N°	1	2	3	4	5	6	7	8
Wt (gr.)	26.50	26.20	26.30	26.60	26.70	26.20	27.20	26.10
Wmh + t (gr.)	261.40	282.80	291.70	291.40	274.40	309.30	339.60	332.90
Wms + t (gr.)	251.90	272.70	278.10	278.80	259.10	290.60	315.20	309.50
Ww (gr.)	9.50	10.10	13.60	12.60	15.30	18.70	24.40	23.40
Wms (gr.)	225.40	246.50	251.80	252.20	232.40	264.40	288.00	283.40
W (%)	4.21	4.10	5.40	5.00	6.58	7.07	8.47	8.26
W promedio (%)	4.156		5.199		6.828		8.365	
Ds (gr./cm ³)	2.212		2.245		2.213		2.117	

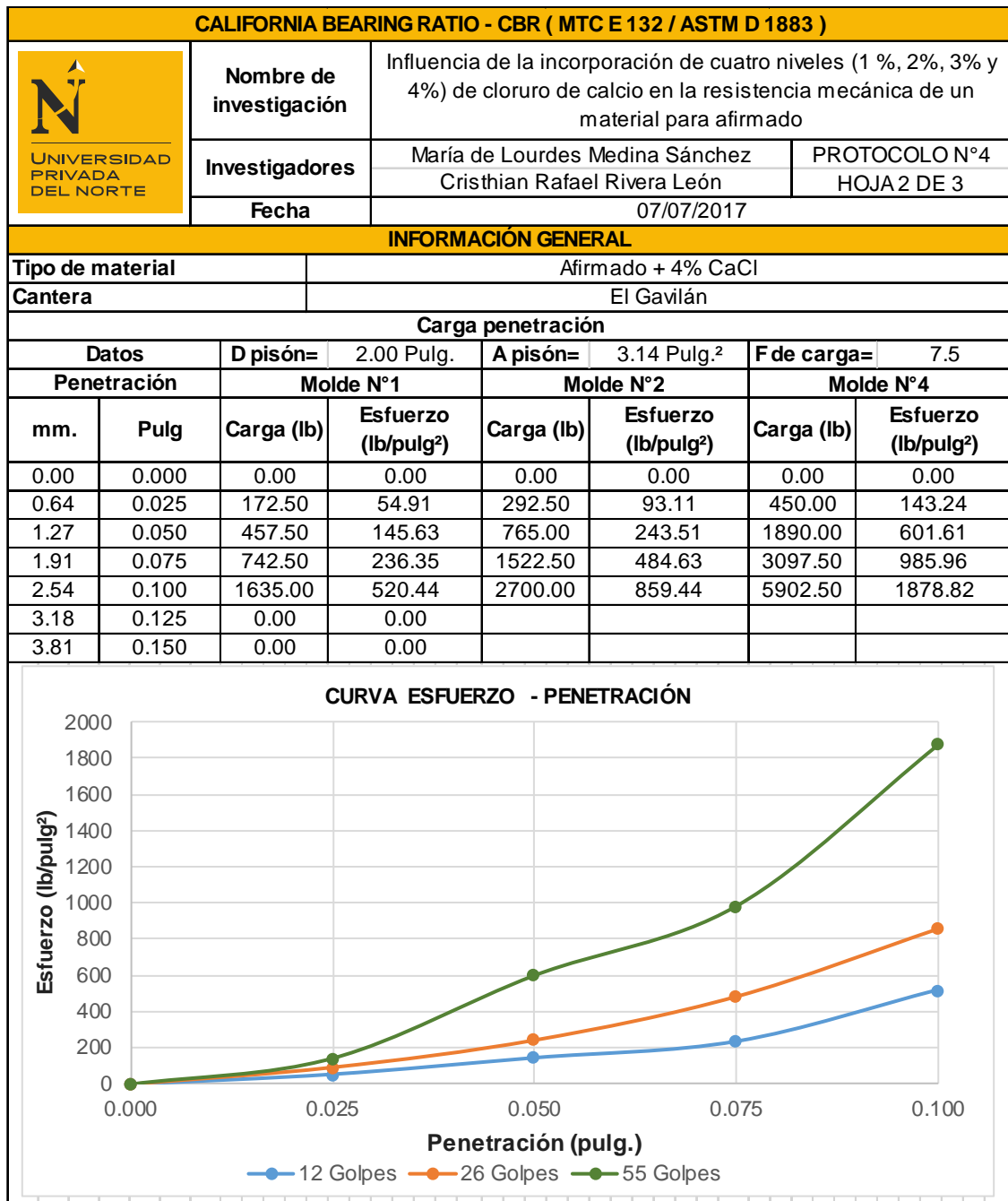


Fuente: Elaboración propia, 2017.


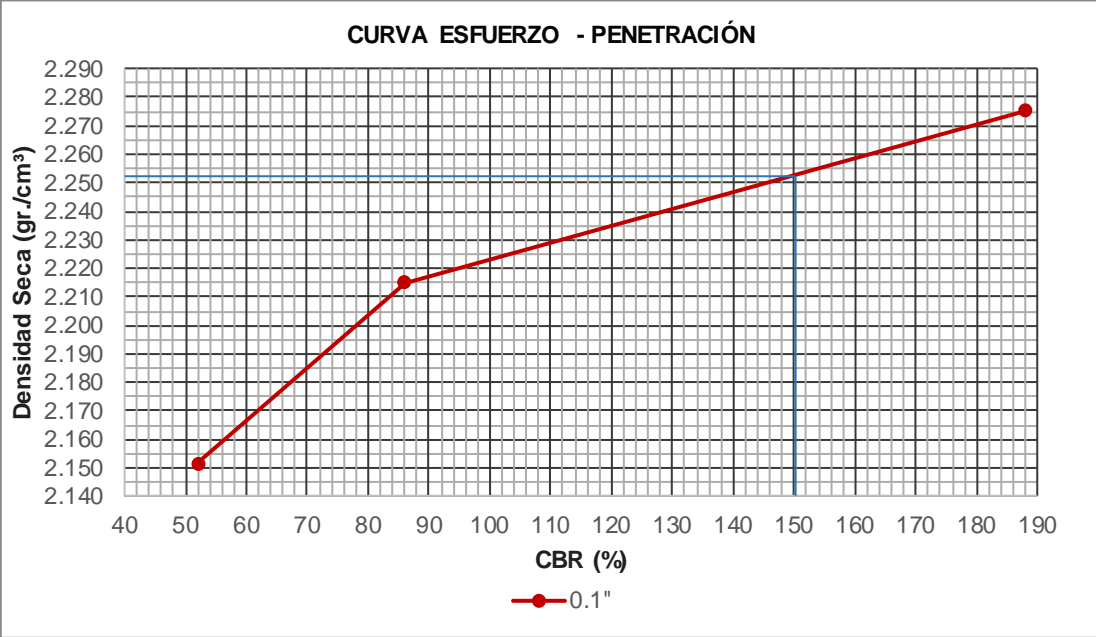
6.15. Ensayo de CBR del afirmado de la cantera El Gavilán + 4% CaCl

CALIFORNIA BEARING RATIO - CBR (MTC E 132 / ASTM D 1883)									
	Nombre de investigación		Influencia de la incorporación de cuatro niveles (1 %, 2%, 3% y 4%) de cloruro de calcio en la resistencia mecánica de un material para afirmado						
	Investigadores		María de Lourdes Medina Sánchez Cristhian Rafael Rivera León				PROTOCOLO N°4 HOJA 1 DE 3		
	Fecha		07/07/2017						
INFORMACIÓN GENERAL									
Tipo de material		Afirmado + 4% CaCl							
Cantera		El Gavilán							
Molde N°		Molde N°1		Molde N°2		Molde N°3			
N° de capas		5		5		5			
N° de golpes		12		26		55			
Condición de la muestra		sin saturar	saturado	sin saturar	saturado	sin saturar	saturado		
Peso molde (gr.)		7635	7635	7675	7675	7480	7480		
Wmh + molde (gr.)		12765	12800	12950	12945	12875	12840		
Wmh (gr.)		5130	5165	5275	5270	5395	5360		
Vhm (cm ³)		2262.94	2262.94	2262.94	2262.94	2262.94	2262.94		
Dh (gr./cm ³)		2.27	2.28	2.33	2.33	2.38	2.37		
Contenido de humedad									
Recipiente N°	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Wt (gr.)	27.00	27.50	27.00	27.00	27.90	27.50	26.90	28.00	27.00
Wmh + t (gr.)	250.60	223.10	246.40	250.20	218.20	209.10	249.30	232.00	260.30
Wms + t (gr.)	239.50	212.90	230.60	239.00	208.80	196.70	238.80	223.00	242.60
Ww (gr.)	11.10	10.20	15.80	11.20	9.40	12.40	10.50	9.00	17.70
Wms (gr.)	212.50	185.40	203.60	212.00	180.90	169.20	211.90	195.00	215.60
W (%)	5.22	5.50	7.76	5.28	5.20	7.33	4.96	4.62	8.21
W promedio (%)	5.36		7.76	5.24		7.33	4.79		8.21
Ds (gr./cm ³)	2.152			2.215			2.275		
Hinchamiento									
Tiempo acumulado		Molde N°1		Molde N°2		Molde N°4			
Horas	Dias	Hinchamiento		Hinchamiento		Hinchamiento			
		mm.	%	mm.	%	mm.	%		

Fuente: Elaboración propia, 2017.



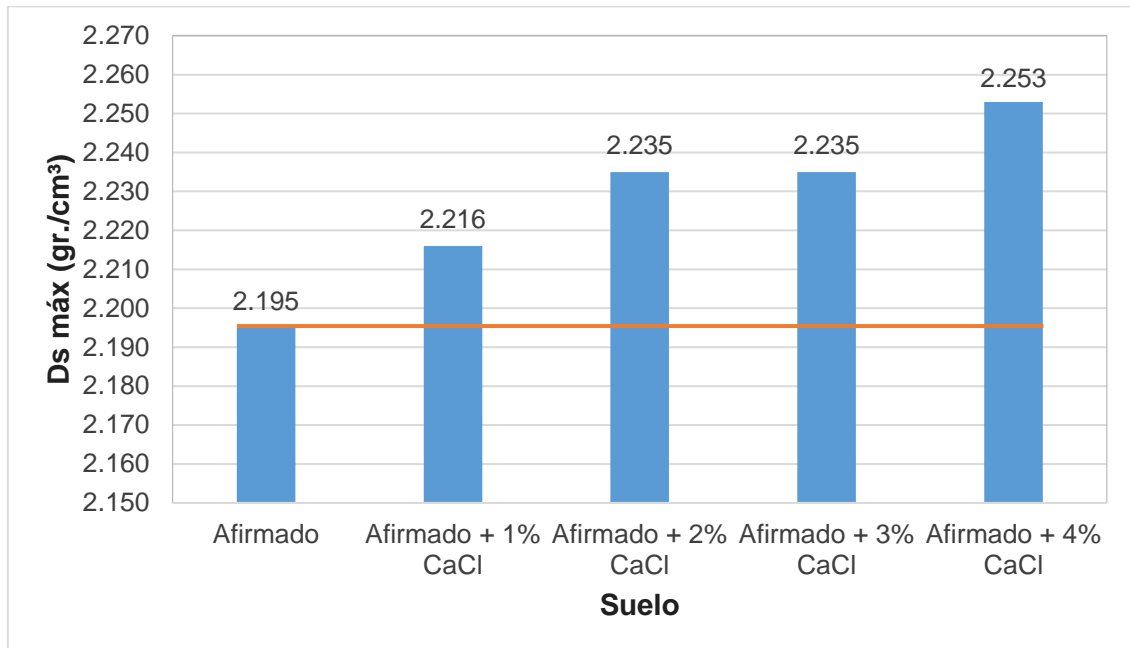
Fuente: Elaboración propia, 2017.

CALIFORNIA BEARING RATIO - CBR (MTC E 132 / ASTM D 1883)			
	Nombre de investigación	Influencia de la incorporación de cuatro niveles (1 %, 2%, 3% y 4%) de cloruro de calcio en la resistencia mecánica de un material para afirmado	
	Investigadores	María de Lourdes Medina Sánchez Cristhian Rafael Rivera León	PROTOCOLO N°4 HOJA 3 DE 3
	Fecha	07/07/2017	
INFORMACIÓN GENERAL			
Tipo de material	Afirmado + 4% CaCl		
Cantera	El Gavilán		
Esfuerzos para 0.1" de penetración, CBR y densidad seca			
Molde N°	Molde N°1	Molde N°2	Molde N°3
Penetración (Pulg.)	0.1"	0.1"	0.1"
Esfuerzo del suelo (lb/pulg²)	520.44	859.44	1878.82
Esfuerzo patrón (lb/pulg²)	1000	1000	1000
CBR (%)	52.04	85.94	187.88
Ds (gr./cm³)	2.15	2.21	2.28
CURVA ESFUERZO - PENETRACIÓN			
			
Resultados			
Máxima densidad seca (gr./cm³)	2.253		
CBR 0.1" (%)	150.0 %		

Fuente: Elaboración propia, 2017.

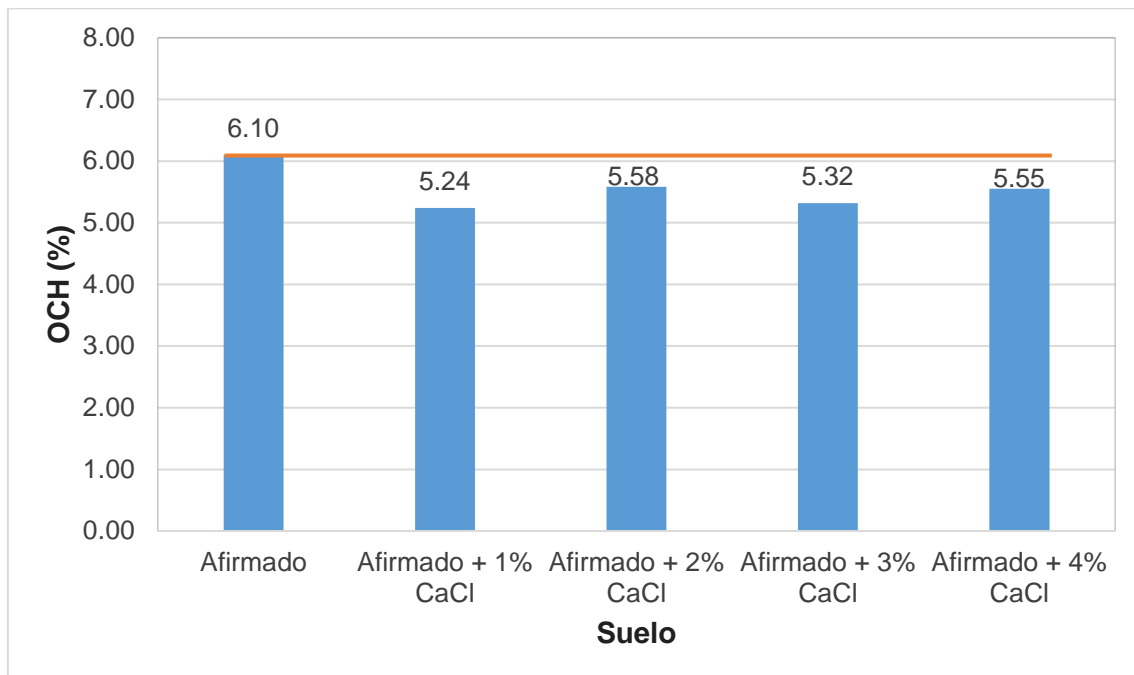
6.16. Resumen de resultados.

Gráfico 1. Resultados máxima densidad seca



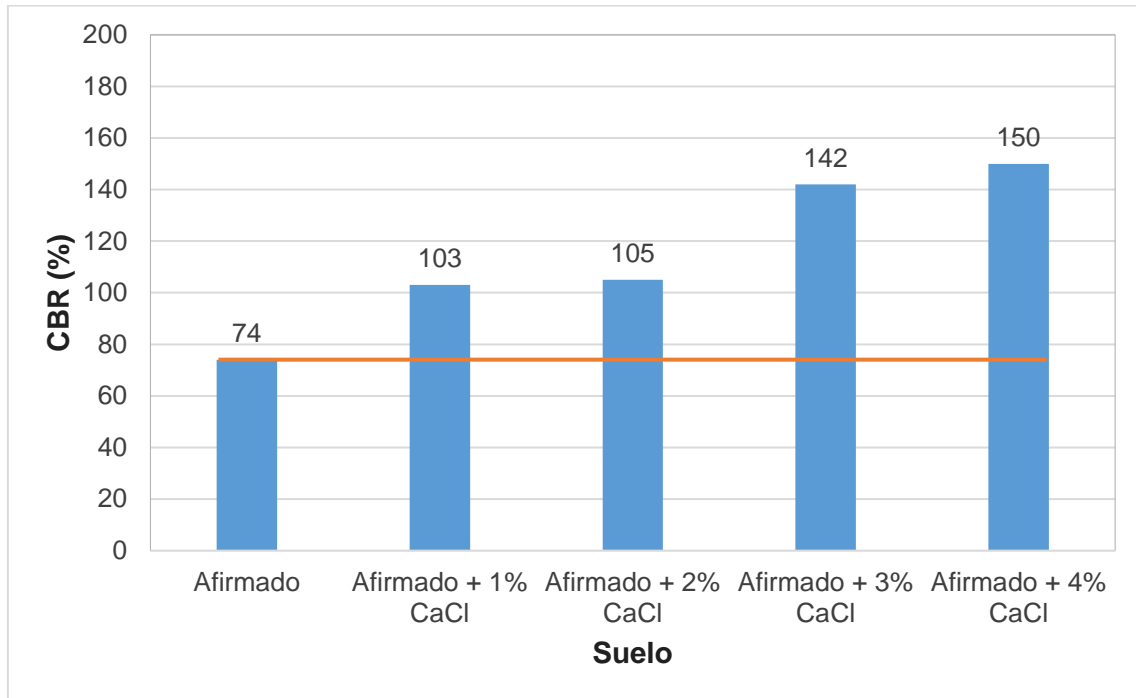
Fuente: Elaboración propia, 2017

Gráfico 2. Resultados óptimo contenido de humedad



Fuente: Elaboración propia, 2017

Gráfico 3. Resultados CBR (100% Ds Máx)



Fuente: Elaboración propia, 2017

CAPÍTULO 7. DISCUSIÓN

7.1. Compactación del suelo en laboratorio usando la energía modificada

- En la tesis denominada “INFLUENCIA DE LA ADICIÓN DE CLORURO DE SODIO EN EL ÍNDICE CALIFORNIA BEARING RATIO (CBR) DE UN SUELO ARCILLOSO, CAJAMARCA 2016”, determino que al incorporar cloruro de sodio la máxima densidad seca se incrementó desde 1.900 gr./cm³ hasta 2.055 gr./cm³ para un 12% de cloruro de sodio por otro lado el comportamiento del óptimo contenido de humedad es lo opuesto puesto que para muestra patrón se obtuvo un 10.23%, en la dosificación de 4% de cloruro de sodio esta aumento hasta 10.39% para luego reducir tanto en la dosificación de 8% y 12% de cloruro de sodio hasta 10.30% y 10.15% respectivamente.

En la presente tesis se puede observar que al incorporar cloruro de calcio la máxima densidad seca presenta un incremento de 2.195 gr./cm³ hasta 2.253 gr./cm³ para el 4% de cloruro de calcio; por otro lado, el óptimo contenido de humedad disminuyo al incorporar cloruro de calcio siendo el de la muestra patrón 6.10% mientras que para el material con incorporación de 1%,2%,3% y 4% se obtuvo 5.24%, 5.58%, 5.32% y 5.55% respectivamente.

7.2. California Bearing Ratio (CBR)

- En la tesis denominada “INFLUENCIA DE LA ADICIÓN DE CLORURO DE SODIO EN EL ÍNDICE CALIFORNIA BEARING RATIO (CBR) DE UN SUELO ARCILLOSO, CAJAMARCA 2016”, se determinó la influencia del adición de cloruro de sodio en 4%, 8% y 12% en el CBR de un suelo arcilloso obteniendo los siguientes resultados para un CBR al 0.1”: para la muestra patrón un CBR de 4.43% adicionando 4% de cloruro de sodio un CBR de 4.50% adicionando 8% de cloruro de sodio un CBR de 4.70%, adicionando 12% de cloruro de sodio un CBR de 4.85%.

En la presente tesis se determinó la influencia del cloruro de calcio obteniendo el mismo comportamiento que la tesis mencionada anteriormente, para la muestra patrón se obtuvo un CBR al 0.1” de 74%, adicionando 1%,2%,3%,4%

se obtuvo 103%, 105%, 142%, 150% respectivamente. Podemos observar que por ser compuestos similares pertenecientes a las sales aportar características similares al ser adicionados a un suelo.

CONCLUSIONES

1. La hipótesis de la investigación cumple satisfactoriamente ya que el cloruro de calcio aumenta la resistencia mecánica del material para afirmado en más del 5% por cada 1% de adición respecto a la muestra patrón.
2. La máxima densidad seca aumenta por cada adición de cloruro de calcio respecto a la muestra patrón la cual tuvo una máxima densidad seca de 2.195 gr./cm³ y para las adiciones de 1%, 2%, 3% y 4% se obtuvo 2.216, 2.235, 2.235 y 2.253 gr./cm³ respectivamente.
3. El cloruro de calcio influyó en el CBR del material para afirmado por cada una de las adiciones 1%, 2%, 3% y 4% obteniendo como resultados para una penetración del 0.1": 103%, 105%, 142% y 150% respectivamente; siendo el CBR de la muestra patrón 74%.
4. El material para afirmado de la cantera El Gavilán cumple con los requisitos mínimos para un material para afirmado según las normas técnicas peruanas del Ministerio de transportes y comunicaciones teniendo una resistencia a la abrasión de 33.23%, CBR al 0.1" de 74%.

RECOMENDACIONES

1. Estudiar la influencia de los costos de la estabilización con cloruro de calcio.
2. Analizar la influencia del cloruro de calcio usando distintos husos granulométricos.
3. Investigar el comportamiento de distintos tipos de suelos frente a la adición de cloruro de calcio.

REFERENCIAS

1. Campos, A. y Vásquez, O. (1992). Seminario taller de mecanica de suelos y exploración Geotecnica. Lima.
2. Choque, H. (2010). Evaluación de aditivos quimicos en la eficiencia de la conservación de superficies de dordadura en caarreteras no pavimentadas. Lima: Universidad Nacional de Ingeniería.
3. Coronado, J. (2000). Manual centroamericano de mantenimiento de carreteras. Guatemala.
4. Eaton, R. y Beaucham, R. (1992). Unsurfaced Road Maintenance and Management. Virginia: US Army Corps of Engineers.
5. García, A. (2015). Determinación de la resistencia de la subrasante incorporando cal estructural en el suelo limo arcilloso del sector 14 Mollepampa de Cajamarca, 2015. Cajamarca.
6. Garnica, P., Pérez, A., Gómez, J. y Obil, E. (2002). Estabilización de suelos con cloruro de sodio para su uso en las vías terrestres. Instituto Mexicano del Transporte. México
7. Gutiérrez, C. (2010). Estabilizacion quimica de carreteras no pavimentadas en el peru y ventajas comparativas del cloruro de magnesio (bischofita) frente al cloruro de calcio. Lima.
8. Mateos, M. (2006). Efectos del cloruro cálcico en la estabilidad de las tierras. España: Cimbra.
9. Ministerio de Transportes y Comunicaciones . (2008). Glosario de términos de uso frecuente en infraestructura vial . Lima.
10. Ministerio de Transportes y Comunicaciones . (2008). Manual para el diseño de caminos no pavimentados de bajo volumen de tránsito. Lima.
11. Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2013). Manual de Carreteras Especificaciones Técnicas Generales para Construcción. Lima.
12. Ministerio de transportes y comunicaciones. (2013). Manual de Carreteras Suelos, Geología, Geotécnia y Pavimentos. Lima.

ANEXOS

Anexo 1. Panel fotográfico

Foto 9. Pesando material para ensayo granulométrico



Foto 10. Cuarteo para ensayo granulométrico.



Foto 11. Pesando tara para ensayo de límites de atterberg.



Foto 12. Preparación de muestra para ensayo de compactación.



Foto 13. Ensayo de compactación.




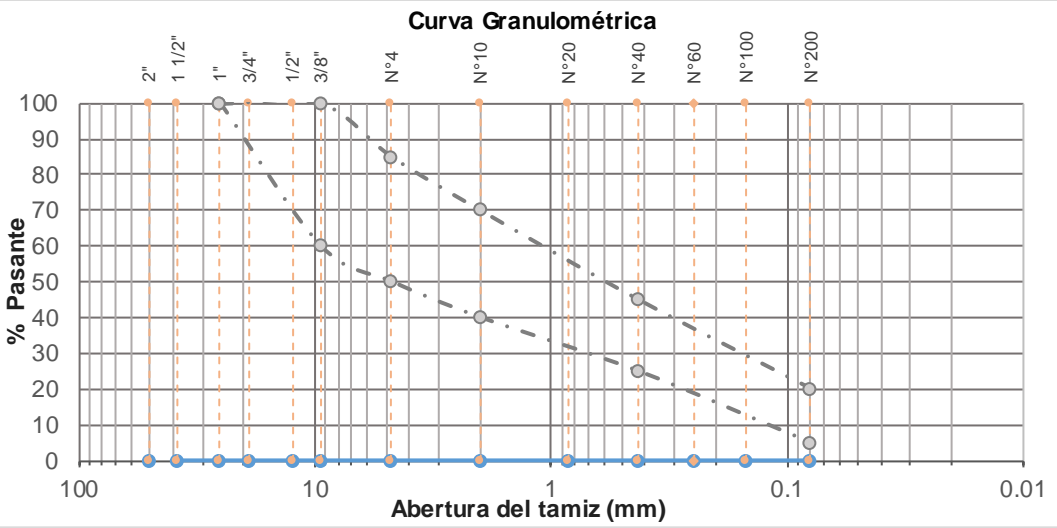
Foto 14. Moldes sumergidos para ensayo de CBR.


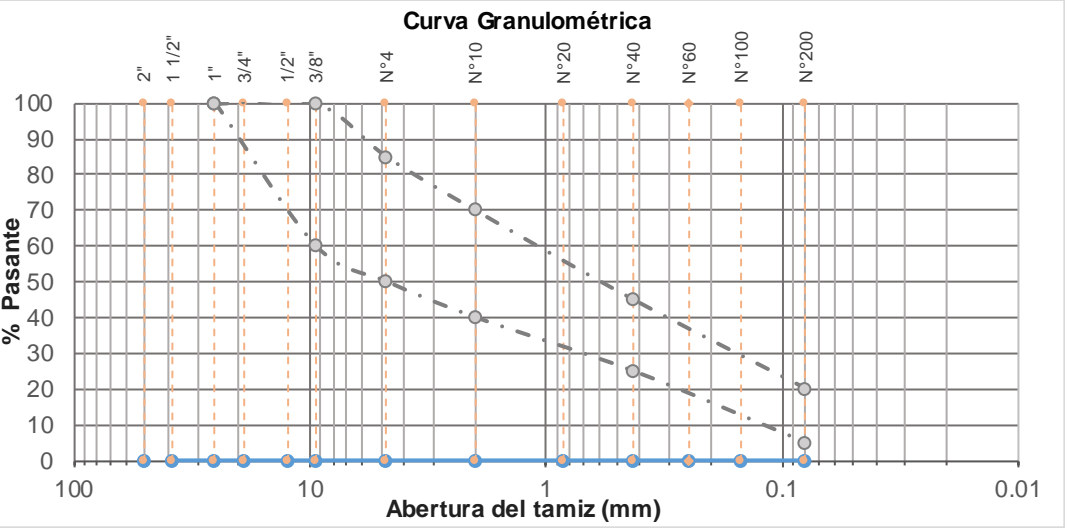



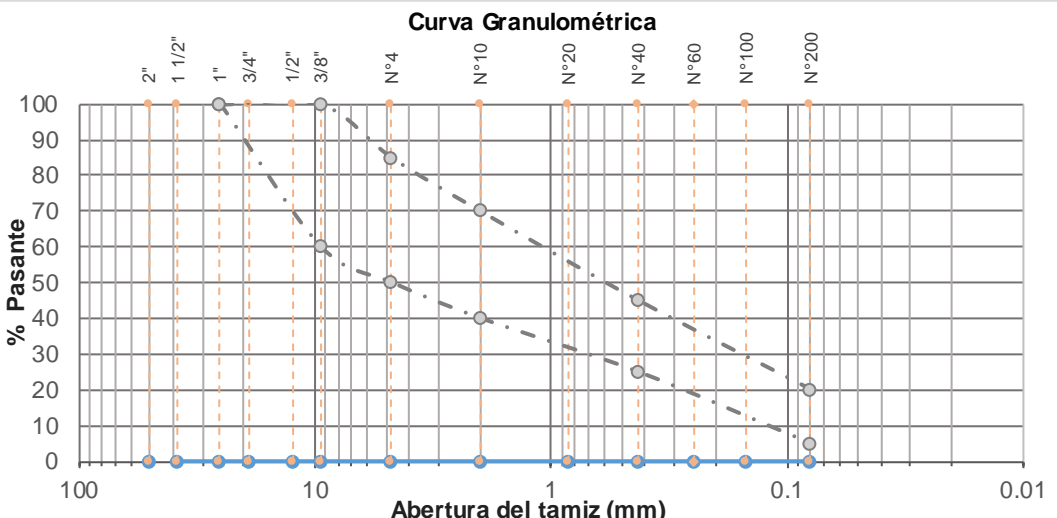
Foto 15. Ensayo de CBR.




Anexo 2. Fichas de recolección de datos ensayos Afirmado


ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO (MTC E 204 / ASTM C 136)					
	Nombre de investigación	Influencia de la incorporación de cuatro niveles (1 %, 2%, 3% y 4%) de cloruro de calcio en la resistencia mecánica de un material para afirmado			
	Investigadores	María de Lourdes Medina Sánchez	PROTOCOLO N°1		
		Cristhian Rafael Rivera León	HOJAS 1 DE 1		
	Fecha				
INFORMACIÓN GENERAL					
Tipo de material					
Cantera					
Peso total (gr.)					
Peso seco fino	Inicial (gr.)				
	Final (gr.)				
Pasante de la N° 200 (gr.)					
Tamiz	Abertura (mm)	Peso retenido (gr.)	% Retenido parcial	% Retenido acumulado	% Que pasa
1"	25.40				
3/4"	19.00				
1/2"	12.50				
3/8"	9.50				
N°4	4.75				
N°10	2.00				
N°20	0.85				
N°40	0.43				
N°60	0.25				
N°100	0.15				
N°200	0.08				
Cazoleta	-				
<p style="text-align: center;">Curva Granulométrica</p> 					
OBSERVACIÓN / COMENTARIO					
APROBACIÓN					
Coordinador de laboratorio	Asesor de tesis	Investigadores			
Sr. Cuzco Minchán, Víctor	Ing. Cubas Becerra, Alejandro	Rivera León, Cristhian Rafael	María de Lourdes Medina Sánchez		

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO (MTC E 204 / ASTM C 136)					
	Nombre de investigación	Influencia de la incorporación de cuatro niveles (1 %, 2%, 3% y 4%) de cloruro de calcio en la resistencia mecánica de un material para afirmado			
	Investigadores	María de Lourdes Medina Sánchez	PROTOCOLO N°1		
	Fecha	Cristhian Rafael Rivera León	HOJAS 1 DE 1		
INFORMACIÓN GENERAL					
Tipo de material					
Cantera					
Peso total (gr.)					
Peso seco fino	Inicial (gr.)				
	Final (gr.)				
Pasante de la N° 200 (gr.)					
Tamiz	Abertura (mm)	Peso retenido (gr.)	% Retenido parcial	% Retenido acumulado	% Que pasa
1"	25.40				
3/4"	19.00				
1/2"	12.50				
3/8"	9.50				
N°4	4.75				
N°10	2.00				
N°20	0.85				
N°40	0.43				
N°60	0.25				
N°100	0.15				
N°200	0.08				
Cazoleta	-				
<p style="text-align: center;">Curva Granulométrica</p> 					
OBSERVACIÓN / COMENTARIO					
APROBACIÓN					
Coordinador de laboratorio	Asesor de tesis	Investigadores			
Sr. Cuzco Minchán, Víctor	Ing. Cubas Becerra, Alejandro	Rivera León, Cristhian Rafael	María de Lourdes Medina Sánchez		

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO (MTC E 204 / ASTM C 136)					
	Nombre de investigación	Influencia de la incorporación de cuatro niveles (1 %, 2%, 3% y 4%) de cloruro de calcio en la resistencia mecánica de un material para afirmado			
	Investigadores	María de Lourdes Medina Sánchez	PROTOCOLO N°1		
		Cristhian Rafael Rivera León	HOJAS 1 DE 1		
	Fecha				
INFORMACIÓN GENERAL					
Tipo de material					
Cantera					
Peso total (gr.)					
Peso seco fino	Inicial (gr.)				
	Final (gr.)				
Pasante de la N° 200 (gr.)					
Tamiz	Abertura (mm)	Peso retenido (gr.)	% Retenido parcial	% Retenido acumulado	% Que pasa
1"	25.40				
3/4"	19.00				
1/2"	12.50				
3/8"	9.50				
N°4	4.75				
N°10	2.00				
N°20	0.85				
N°40	0.43				
N°60	0.25				
N°100	0.15				
N°200	0.08				
Cazoleta	-				
<p style="text-align: center;">Curva Granulométrica</p> 					
OBSERVACIÓN / COMENTARIO					
APROBACIÓN					
Coordinador de laboratorio	Asesor de tesis	Investigadores			
Sr. Cuzco Minchán, Víctor	Ing. Cubas Becerra, Alejandro	Rivera León, Cristhian Rafael	María de Lourdes Medina Sánchez		

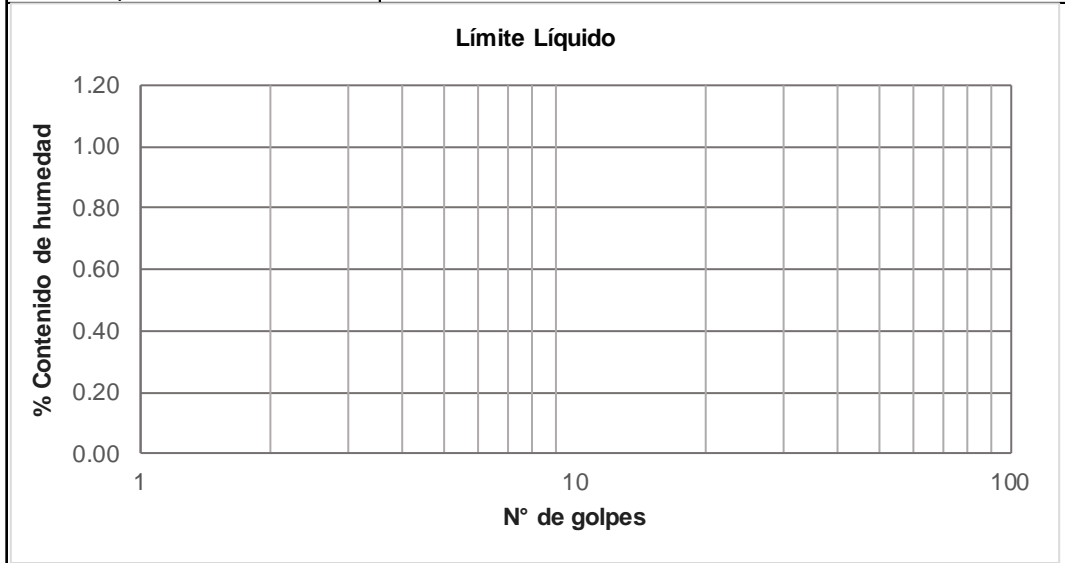
ABRASIÓN LOS ÁNGELES (MTC E 207 / ASTM C 131)					
	Nombre de investigación	Influencia de la incorporación de cuatro niveles (1 %, 2%, 3% y 4%) de cloruro de calcio en la resistencia mecánica de un material para afirmado			
	Investigadores	Cristhian Rafael Rivera León	PROTOCOLO N°2		
		María de Lourdes Medina Sánchez	HOJAS 1 DE 1		
	Fecha				
INFORMACIÓN GENERAL					
Tipo de material					
Cantera					
GRANULOMETRÍA DEL ENSAYO					
Gradación	A	B	C	D	
Carga abrasiva (N° de esferas)	12	11	8	6	
GRANULOMETRÍA DE LA MUESTRA DE AGREGADOS PARA ENSAYO					
Pasa el tamiz	Retenido en el tamiz	A (gr.)	B (gr.)	C (gr.)	D (gr.)
1 1/2"	1"	1250 ± 25			
1"	3/4"	1250 ± 25			
3/4"	1/2"	1250 ± 10	2500 ± 10		
1/2"	3/8"	1250 ± 10	2500 ± 10		
3/8"	1/4"			2500 ± 10	
1/4"	N° 4			2500 ± 10	
N° 4	N° 8				5000 ± 10
Totales		5000 ± 10	5000 ± 10	5000 ± 10	5000 ± 10
DESGASTE A LA ABRASIÓN					
Pasa el tamiz	Retenido en el tamiz	A (gr.)	B (gr.)	C (gr.)	D (gr.)
1 1/2"	1"				
1"	3/4"				
3/4"	1/2"				
1/2"	3/8"				
3/8"	1/4"				
1/4"	N° 4				
N° 4	N° 8				
Totales					
Peso retenido en el tamiz N° 12					
Coefficiente de desgaste a Los Angeles					
OBSERVACIÓN / COMENTARIO					
APROBACIÓN					
Coordinador de laboratorio	Asesor de tesis	Investigadores			
Sr. Cuzco Minchán, Víctor	Ing. Cubas Becerra, Alejandro	Rivera León, Cristhian Rafael	Medina Sánchez, María de Lourdes		

LÍMITE LÍQUIDO (MTC E 110 / ASTM D 4318) Y LÍMITE PLÁSTICO (MTC E 111 / ASTM D 4318)

	Nombre de investigación	Influencia de la incorporación de tres niveles (1 %, 2% y 3%) de cloruro de calcio en la resistencia mecánica de un material para afirmado	
	Investigadores	María de Lourdes Medina Sánchez Cristhian Rafael Rivera León	PROTOCOLO N°2 HOJAS 1 DE 1
	Fecha		

INFORMACIÓN GENERAL

Tipo de material				
Cantera				
Cantidad de muestra				
DATOS	LÍMITE LÍQUIDO		LÍMITE PLÁSTICO	
Peso de la tara Wt (gr.)				
Peso de la muestra húmeda + tara Wmh + t (gr.)				
Peso de la muestra seca + tara Wms + t (gr.)				
Peso del agua Ww (gr.)				
Peso de la muestra seca Wms (gr.)				
Contenido de humedad W%				
Numero de golpes				
LL - LP				
Índice de plasticidad				


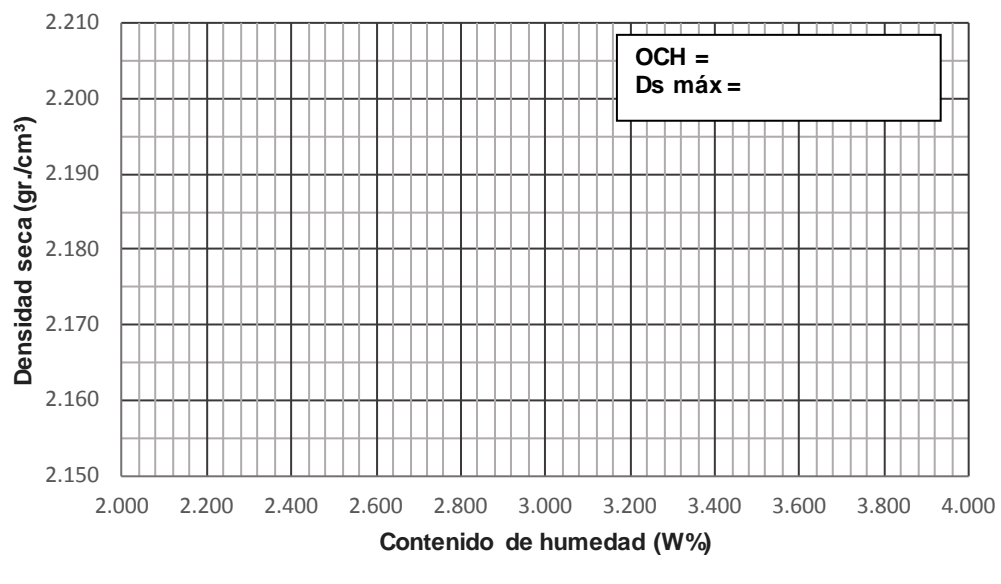



OBSERVACIÓN / COMENTARIO


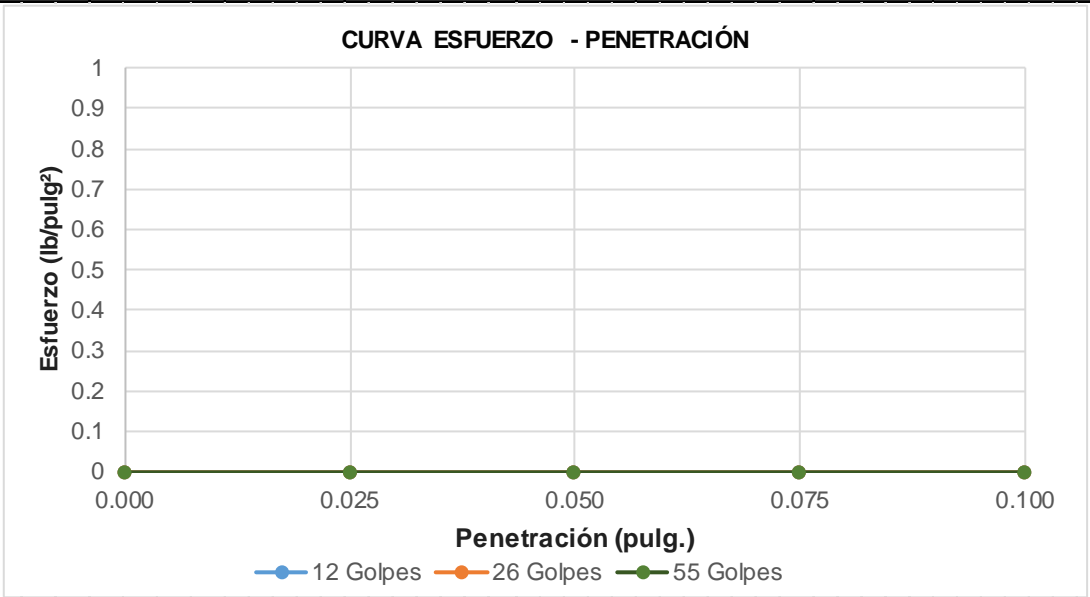
--

APROBACIÓN


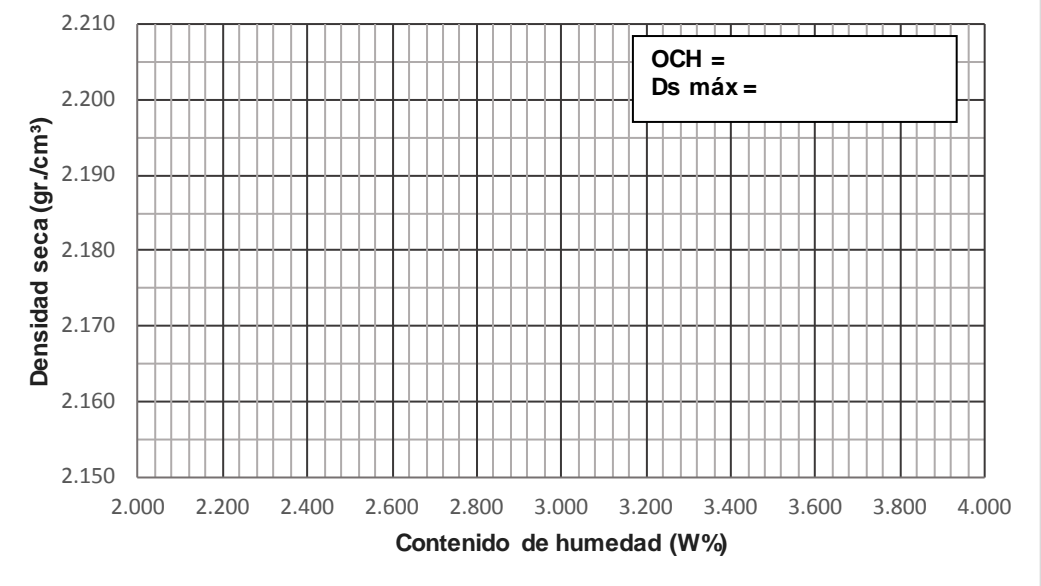
Coordinador de laboratorio	Asesor de tesis	Investigadores	
Sr. Cuzco Minchán, Víctor	Ing. Cubas Becerra, Alejandro	Rivera León, Cristhian Rafael	María de Lourdes Medina Sánchez


PROCTOR MODIFICADO (MTC E 115 / ASTM D 1557)									
	Nombre de investigación		Influencia de la incorporación de cuatro niveles (1 %, 2% y 3% y 4%) de cloruro de calcio en la resistencia mecánica de un material para afirmado						
	Investigadores		María de Lourdes Medina Sánchez			Cristhian Rafael Rivera León			PROTOCOLO N°3 HOJAS 1 DE 1
	Fecha								
INFORMACIÓN GENERAL									
Tipo de material									
Cantera									
Cantidad de muestra									
Molde N°	Molde N°1		Molde N°2		Molde N°3		Molde N°4		
Peso molde (gr.)									
Wmh + molde (gr.)									
Whm (gr.)									
Vhm (cm ³)									
Dh (gr./cm ³)									
Recipiente N°	1	2	3	4	5	6	7	8	
Wt (gr.)									
Wmh + t (gr.)									
Wms + t (gr.)									
Ww (gr.)									
Wms (gr.)									
W (%)									
W promedio (%)									
Ds (gr./cm ³)									
									
OBSERVACIÓN COMENTARIO									
APROBACIÓN									
Coordinador de laboratorio			Asesor de tesis		Investigadores				
Sr. Víctor Cuzco Minchán			Ing. Cubas Becerra Alejandro		Rivera León Cristhian Rafael		Medina Sánchez, María de Lourdes		


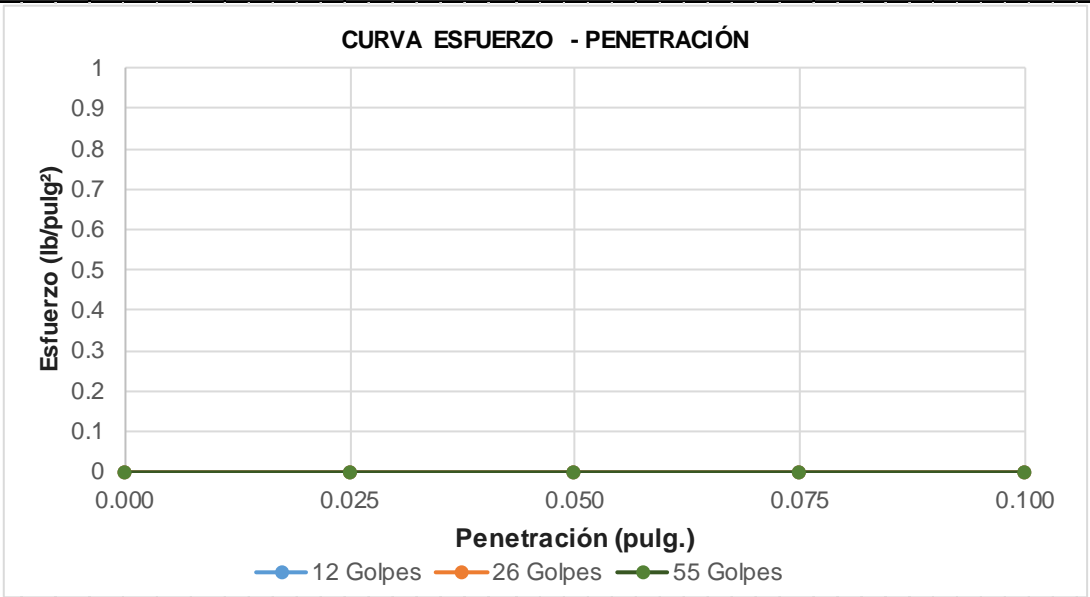
CALIFORNIA BEARING RATIO - CBR (MTC E 132 / ASTM D 1883)										
	Nombre de investigación		Influencia de la incorporación de cuatro niveles (1 %, 2%, 3% y 4%) de cloruro de calcio en la resistencia mecánica de un material para afirmado							
	Investigadores		María de Lourdes Medina Sánchez				PROTOCOLO N°4			
	Fecha		Cristhian Rafael Rivera León				HOJA 1 DE 2			
INFORMACIÓN GENERAL										
Tipo de material										
Cantera										
Molde N°		Molde N°1		Molde N°2		Molde N°3				
N° de capas		5		5		5				
N° de golpes		12		26		55				
Condición de la muestra		sin saturar	saturado	sin saturar	saturado	sin saturar	saturado			
Peso molde (gr.)										
Wmh + molde (gr.)										
Wmh (gr.)										
Vhm (cm ³)										
Dh (gr./cm ³)										
Contenido de humedad										
Recipiente N°		1	2	3	4	5	6	7	8	9
Wt (gr.)										
Wmh + t (gr.)										
Wms + t (gr.)										
Ww (gr.)										
Wms (gr.)										
W (%)										
W promedio (%)										
Ds (gr./cm ³)										
Hinchamiento										
Tiempo acumulado		Molde N°1		Molde N°2		Molde N°4				
		Hinchamiento		Hinchamiento		Hinchamiento				
Horas	Dias	mm.	%	mm.	%	mm.	%	mm.	%	
OBSERVACIÓN / COMENTARIO										
APROBACIÓN										
Coordinador de laboratorio		Asesor de tesis		Investigadores						
Sr. Cuzco Minchán, Víctor		Ing. Cubas Becerra, Alejandro		Rivera León, Cristhian Rafael		Medina Sánchez, María de Lourdes				

CALIFORNIA BEARING RATIO - CBR (MTC E 132 / ASTM D 1883)							
		Nombre de investigación		Influencia de la incorporación de cuatro niveles (1 %, 2%, 3% y 4%) de cloruro de calcio en la resistencia mecánica de un material para afirmado			
		Investigadores		María de Lourdes Medina Sánchez Cristhian Rafael Rivera León		PROTOCOLO N°4 HOJA 2 DE 2	
		Fecha					
INFORMACIÓN GENERAL							
Tipo de material							
Cantera							
Carga penetración							
Datos		D pisón=		A pisón=		F de carga=	
Penetración		Molde N°1		Molde N°2		Molde N°4	
mm.	Pulg	Carga (lb)	Esfuerzo (lb/pulg²)	Carga (lb)	Esfuerzo (lb/pulg²)	Carga (lb)	Esfuerzo (lb/pulg²)
0.00	0.000						
0.64	0.025						
1.27	0.050						
1.91	0.075						
2.54	0.100						
3.18	0.125						
3.81	0.150						
<p style="text-align: center;">CURVA ESFUERZO - PENETRACIÓN</p>  <p style="text-align: center;">Esfuerzo (lb/pulg²)</p> <p style="text-align: center;">Penetración (pulg.)</p> <p style="text-align: center;">● 12 Golpes ● 26 Golpes ● 55 Golpes</p>							
OBSERVACIÓN / COMENTARIO							
APROBACIÓN							
Coordinador de laboratorio		Asesor de tesis		Investigadores			
Sr. Cuzco Minchán, Víctor		Ing. Cubas Becerra, Alejandro		Rivera León, Cristhian Rafael		Medina Sánchez, María de Lourdes	


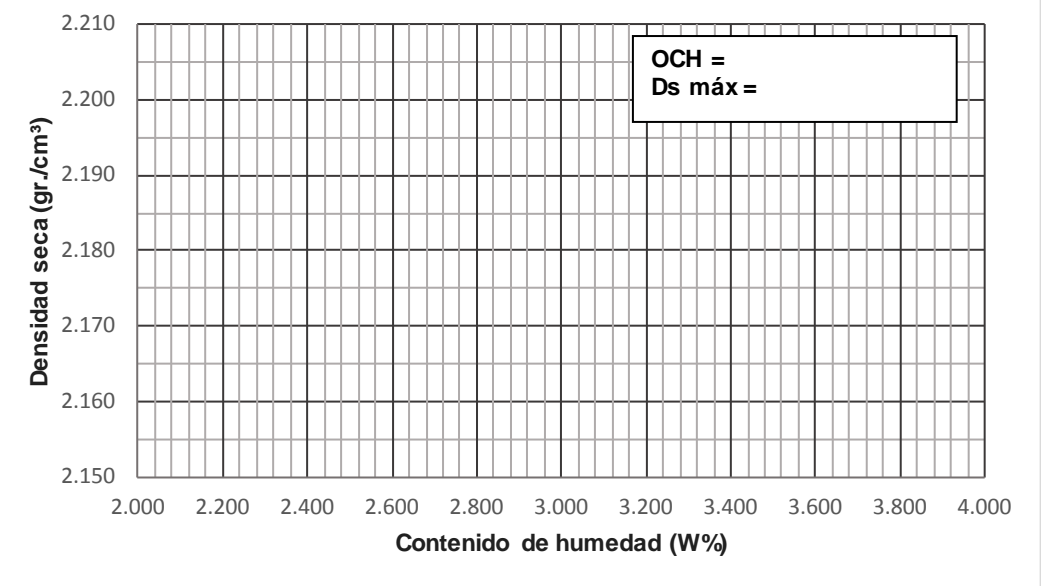
Anexo 3. Fichas de recolección de datos ensayos Afirmado + 1% CaCl


PROCTOR MODIFICADO (MTC E 115 / ASTM D 1557)										
	Nombre de investigación		Influencia de la incorporación de cuatro niveles (1 %, 2% y 3% y 4%) de cloruro de calcio en la resistencia mecánica de un material para afirmado							
	Investigadores		María de Lourdes Medina Sánchez				Cristhian Rafael Rivera León			PROTOCOLO N°3 HOJAS 1 DE 1
	Fecha									
INFORMACIÓN GENERAL										
Tipo de material										
Cantera										
Cantidad de muestra										
Molde N°	Molde N°1		Molde N°2		Molde N°3		Molde N°4			
Peso molde (gr.)										
Wmh + molde (gr.)										
Whm (gr.)										
Vhm (cm ³)										
Dh (gr./cm ³)										
Recipiente N°	1	2	3	4	5	6	7	8		
Wt (gr.)										
Wmh + t (gr.)										
Wms + t (gr.)										
Ww (gr.)										
Wms (gr.)										
W (%)										
W promedio (%)										
Ds (gr./cm ³)										
 <p style="text-align: center;">OCH = Ds máx =</p>										
OBSERVACIÓN COMENTARIO										
APROBACIÓN										
Coordinador de laboratorio			Asesor de tesis		Investigadores					
Sr. Víctor Cuzco Minchán			Ing. Cubas Becerra Alejandro		Rivera León Cristhian Rafael		Medina Sánchez, María de Lourdes			


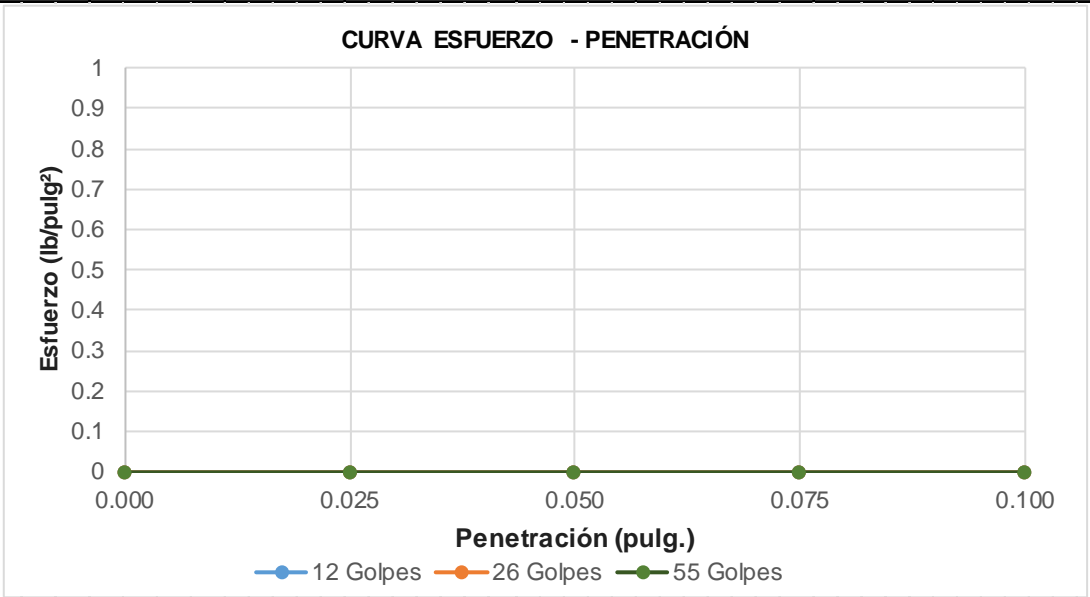
CALIFORNIA BEARING RATIO - CBR (MTC E 132 / ASTM D 1883)										
		Nombre de investigación		Influencia de la incorporación de cuatro niveles (1 %, 2%, 3% y 4%) de cloruro de calcio en la resistencia mecánica de un material para afirmado						
		Investigadores		María de Lourdes Medina Sánchez			PROTOCOLO N°4			
		Fecha		Cristhian Rafael Rivera León			HOJA 1 DE 2			
INFORMACIÓN GENERAL										
Tipo de material										
Cantera										
Molde N°		Molde N°1		Molde N°2		Molde N°3				
N° de capas		5		5		5				
N° de golpes		12		26		55				
Condición de la muestra		sin saturar	saturado	sin saturar	saturado	sin saturar	saturado			
Peso molde (gr.)										
Wmh + molde (gr.)										
Wmh (gr.)										
Vhm (cm ³)										
Dh (gr./cm ³)										
Contenido de humedad										
Recipiente N°		1	2	3	4	5	6	7	8	9
Wt (gr.)										
Wmh + t (gr.)										
Wms + t (gr.)										
Ww (gr.)										
Wms (gr.)										
W (%)										
W promedio (%)										
Ds (gr./cm ³)										
Hinchamiento										
Tiempo acumulado		Molde N°1		Molde N°2		Molde N°4				
		Hinchamiento		Hinchamiento		Hinchamiento				
Horas	Días	mm.	%	mm.	%	mm.	%	mm.	%	
OBSERVACIÓN / COMENTARIO										
APROBACIÓN										
Coordinador de laboratorio		Asesor de tesis		Investigadores						
Sr. Cuzco Minchán, Víctor		Ing. Cubas Becerra, Alejandro		Rivera León, Cristhian Rafael			Medina Sánchez, María de Lourdes			

CALIFORNIA BEARING RATIO - CBR (MTC E 132 / ASTM D 1883)							
		Nombre de investigación		Influencia de la incorporación de cuatro niveles (1 %, 2%, 3% y 4%) de cloruro de calcio en la resistencia mecánica de un material para afirmado			
		Investigadores		María de Lourdes Medina Sánchez Cristhian Rafael Rivera León		PROTOCOLO N°4 HOJA 2 DE 2	
		Fecha					
INFORMACIÓN GENERAL							
Tipo de material							
Cantera							
Carga penetración							
Datos		D pisón=		A pisón=		F de carga=	
Penetración		Molde N°1		Molde N°2		Molde N°4	
mm.	Pulg	Carga (lb)	Esfuerzo (lb/pulg ²)	Carga (lb)	Esfuerzo (lb/pulg ²)	Carga (lb)	Esfuerzo (lb/pulg ²)
0.00	0.000						
0.64	0.025						
1.27	0.050						
1.91	0.075						
2.54	0.100						
3.18	0.125						
3.81	0.150						
CURVA ESFUERZO - PENETRACIÓN							
							
OBSERVACIÓN / COMENTARIO							
APROBACIÓN							
Coordinador de laboratorio		Asesor de tesis		Investigadores			
Sr. Cuzco Minchán, Víctor		Ing. Cubas Becerra, Alejandro		Rivera León, Cristhian Rafael		Medina Sánchez, María de Lourdes	


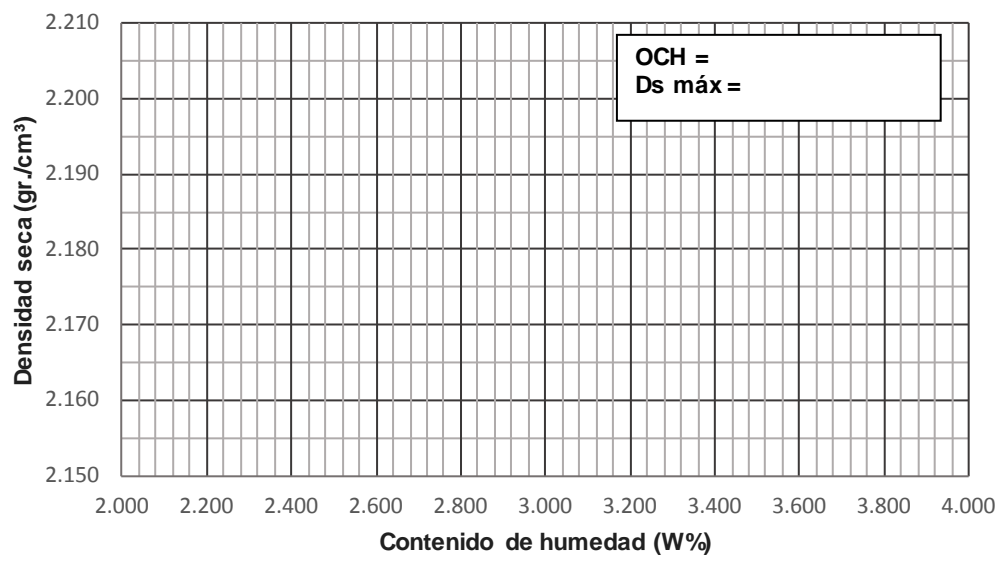
Anexo 4. Fichas de recolección de datos ensayos Afirmado + 2% CaCl


PROCTOR MODIFICADO (MTC E 115 / ASTM D 1557)									
	Nombre de investigación		Influencia de la incorporación de cuatro niveles (1 %, 2% y 3% y 4%) de cloruro de calcio en la resistencia mecánica de un material para afirmado						
	Investigadores		María de Lourdes Medina Sánchez			Cristhian Rafael Rivera León			PROTOCOLO N°3 HOJAS 1 DE 1
	Fecha								
INFORMACIÓN GENERAL									
Tipo de material									
Cantera									
Cantidad de muestra									
Molde N°	Molde N°1		Molde N°2		Molde N°3		Molde N°4		
Peso molde (gr.)									
Wmh + molde (gr.)									
Whm (gr.)									
Vhm (cm ³)									
Dh (gr./cm ³)									
Recipiente N°	1	2	3	4	5	6	7	8	
Wt (gr.)									
Wmh + t (gr.)									
Wms + t (gr.)									
Ww (gr.)									
Wms (gr.)									
W (%)									
W promedio (%)									
Ds (gr./cm ³)									
 <p style="text-align: center;">OCH = Ds máx =</p>									
OBSERVACIÓN COMENTARIO									
APROBACIÓN									
Coordinador de laboratorio		Asesor de tesis		Investigadores					
Sr. Víctor Cuzco Minchán		Ing. Cubas Becerra Alejandro		Rivera León Cristhian Rafael		Medina Sánchez, María de Lourdes			


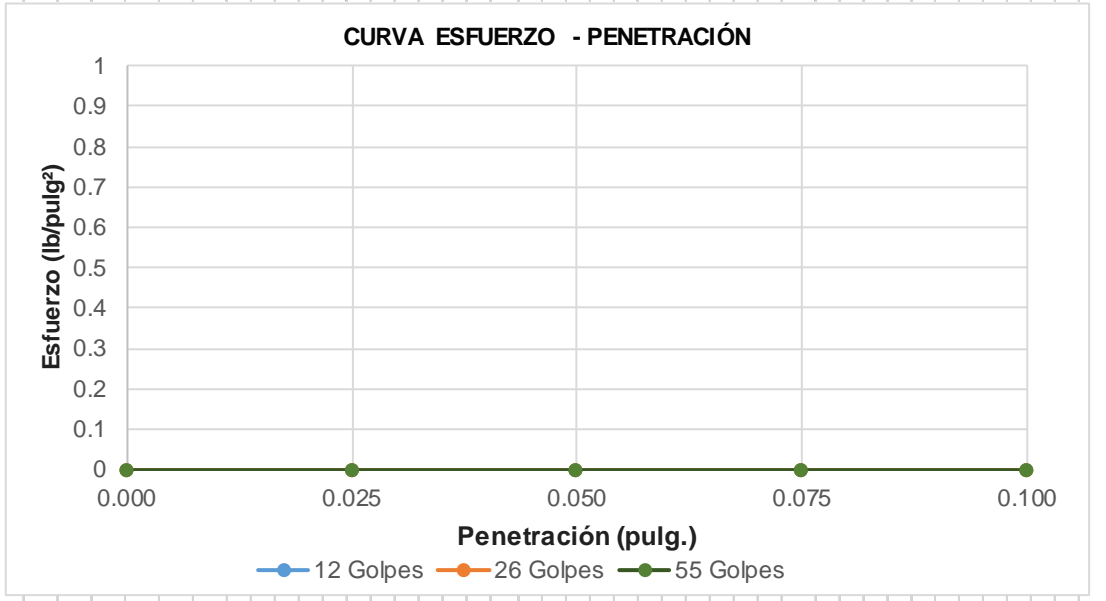
CALIFORNIA BEARING RATIO - CBR (MTC E 132 / ASTM D 1883)										
	Nombre de investigación		Influencia de la incorporación de cuatro niveles (1 %, 2%, 3% y 4%) de cloruro de calcio en la resistencia mecánica de un material para afirmado							
	Investigadores		María de Lourdes Medina Sánchez				PROTOCOLO N°4			
	Fecha		Cristhian Rafael Rivera León				HOJA 1 DE 2			
INFORMACIÓN GENERAL										
Tipo de material										
Cantera										
Molde N°		Molde N°1		Molde N°2		Molde N°3				
N° de capas		5		5		5				
N° de golpes		12		26		55				
Condición de la muestra		sin saturar	saturado	sin saturar	saturado	sin saturar	saturado			
Peso molde (gr.)										
Wmh + molde (gr.)										
Wmh (gr.)										
Vhm (cm ³)										
Dh (gr./cm ³)										
Contenido de humedad										
Recipiente N°		1	2	3	4	5	6	7	8	9
Wt (gr.)										
Wmh + t (gr.)										
Wms + t (gr.)										
Ww (gr.)										
Wms (gr.)										
W (%)										
W promedio (%)										
Ds (gr./cm ³)										
Hinchamiento										
Tiempo acumulado		Molde N°1		Molde N°2		Molde N°4				
		Hinchamiento		Hinchamiento		Hinchamiento				
Horas	Días	mm.	%	mm.	%	mm.	%	mm.	%	
OBSERVACIÓN / COMENTARIO										
APROBACIÓN										
Coordinador de laboratorio		Asesor de tesis		Investigadores						
Sr. Cuzco Minchán, Víctor		Ing. Cubas Becerra, Alejandro		Rivera León, Cristhian Rafael		Medina Sánchez, María de Lourdes				

CALIFORNIA BEARING RATIO - CBR (MTC E 132 / ASTM D 1883)							
		Nombre de investigación		Influencia de la incorporación de cuatro niveles (1 %, 2%, 3% y 4%) de cloruro de calcio en la resistencia mecánica de un material para afirmado			
		Investigadores		María de Lourdes Medina Sánchez Cristhian Rafael Rivera León		PROTOCOLO N°4 HOJA 2 DE 2	
		Fecha					
INFORMACIÓN GENERAL							
Tipo de material							
Cantera							
Carga penetración							
Datos		D pisón=		A pisón=		F de carga=	
Penetración		Molde N°1		Molde N°2		Molde N°4	
mm.	Pulg	Carga (lb)	Esfuerzo (lb/pulg ²)	Carga (lb)	Esfuerzo (lb/pulg ²)	Carga (lb)	Esfuerzo (lb/pulg ²)
0.00	0.000						
0.64	0.025						
1.27	0.050						
1.91	0.075						
2.54	0.100						
3.18	0.125						
3.81	0.150						
CURVA ESFUERZO - PENETRACIÓN							
							
OBSERVACIÓN / COMENTARIO							
APROBACIÓN							
Coordinador de laboratorio		Asesor de tesis		Investigadores			
Sr. Cuzco Minchán, Víctor		Ing. Cubas Becerra, Alejandro		Rivera León, Cristhian Rafael		Medina Sánchez, María de Lourdes	


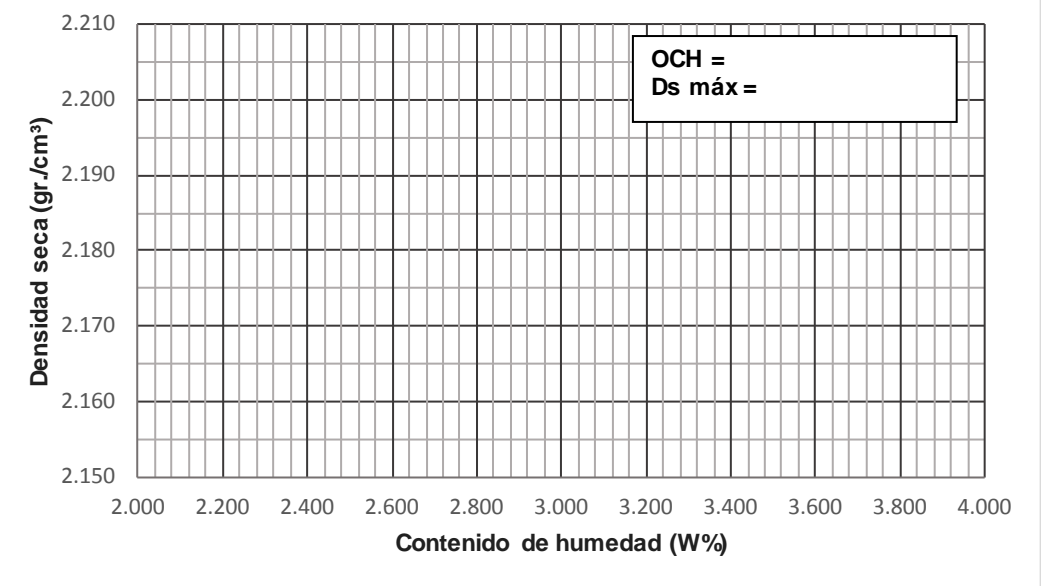
Anexo 5. Fichas de recolección de datos ensayos Afirmado + 3% CaCl


PROCTOR MODIFICADO (MTC E 115 / ASTM D 1557)									
	Nombre de investigación		Influencia de la incorporación de cuatro niveles (1 %, 2% y 3% y 4%) de cloruro de calcio en la resistencia mecánica de un material para afirmado						
	Investigadores		María de Lourdes Medina Sánchez			Cristhian Rafael Rivera León			PROTOCOLO N°3 HOJAS 1 DE 1
	Fecha								
INFORMACIÓN GENERAL									
Tipo de material									
Cantera									
Cantidad de muestra									
Molde N°	Molde N°1		Molde N°2		Molde N°3		Molde N°4		
Peso molde (gr.)									
Wmh + molde (gr.)									
Whm (gr.)									
Vhm (cm ³)									
Dh (gr./cm ³)									
Recipiente N°	1	2	3	4	5	6	7	8	
Wt (gr.)									
Wmh + t (gr.)									
Wms + t (gr.)									
Ww (gr.)									
Wms (gr.)									
W (%)									
W promedio (%)									
Ds (gr./cm ³)									
									
OBSERVACIÓN COMENTARIO									
APROBACIÓN									
Coordinador de laboratorio			Asesor de tesis		Investigadores				
Sr. Víctor Cuzco Minchán			Ing. Cubas Becerra Alejandro		Rivera León Cristhian Rafael		Medina Sánchez, María de Lourdes		


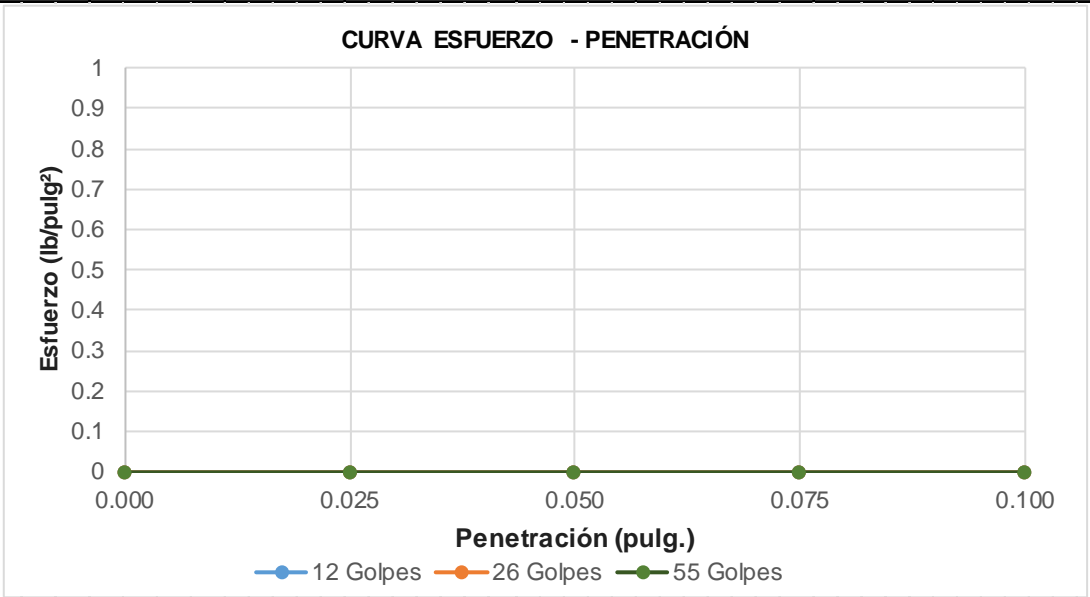
CALIFORNIA BEARING RATIO - CBR (MTC E 132 / ASTM D 1883)									
	Nombre de investigación		Influencia de la incorporación de cuatro niveles (1 %, 2%, 3% y 4%) de cloruro de calcio en la resistencia mecánica de un material para afirmado						
	Investigadores		María de Lourdes Medina Sánchez Cristhian Rafael Rivera León				PROTOCOLO N°4 HOJA 1 DE 2		
	Fecha								
INFORMACIÓN GENERAL									
Tipo de material									
Cantera									
Molde N°		Molde N°1		Molde N°2		Molde N°3			
N° de capas		5		5		5			
N° de golpes		12		26		55			
Condición de la muestra		sin saturar	saturado	sin saturar	saturado	sin saturar	saturado		
Peso molde (gr.)									
Wmh + molde (gr.)									
Wmh (gr.)									
Vhm (cm ³)									
Dh (gr./cm ³)									
Contenido de humedad									
Recipiente N°	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Wt (gr.)									
Wmh + t (gr.)									
Wms + t (gr.)									
Ww (gr.)									
Wms (gr.)									
W (%)									
W promedio (%)									
Ds (gr./cm ³)									
Hinchamiento									
Tiempo acumulado		Molde N°1		Molde N°2		Molde N°4			
		Hinchamiento		Hinchamiento		Hinchamiento			
Horas	Días	mm.	%	mm.	%	mm.	%		
OBSERVACIÓN / COMENTARIO									
APROBACIÓN									
Coordinador de laboratorio		Asesor de tesis		Investigadores					
Sr. Cuzco Minchán, Víctor		Ing. Cubas Becerra, Alejandro		Rivera León, Cristhian Rafael		Medina Sánchez, María de Lourdes			

CALIFORNIA BEARING RATIO - CBR (MTC E 132 / ASTM D 1883)							
		Nombre de investigación		Influencia de la incorporación de cuatro niveles (1 %, 2%, 3% y 4%) de cloruro de calcio en la resistencia mecánica de un material para afirmado			
		Investigadores		María de Lourdes Medina Sánchez Cristhian Rafael Rivera León		PROTOCOLO N°4 HOJA 2 DE 2	
		Fecha					
INFORMACIÓN GENERAL							
Tipo de material							
Cantera							
Carga penetración							
Datos		D pisón=		A pisón=		F de carga=	
Penetración		Molde N°1		Molde N°2		Molde N°4	
mm.	Pulg	Carga (lb)	Esfuerzo (lb/pulg²)	Carga (lb)	Esfuerzo (lb/pulg²)	Carga (lb)	Esfuerzo (lb/pulg²)
0.00	0.000						
0.64	0.025						
1.27	0.050						
1.91	0.075						
2.54	0.100						
3.18	0.125						
3.81	0.150						
<p align="center">CURVA ESFUERZO - PENETRACIÓN</p>  <p align="center"> ● 12 Golpes ● 26 Golpes ● 55 Golpes </p>							
OBSERVACIÓN / COMENTARIO							
APROBACIÓN							
Coordinador de laboratorio		Asesor de tesis		Investigadores			
Sr. Cuzco Minchán, Víctor		Ing. Cubas Becerra, Alejandro		Rivera León, Cristhian Rafael		Medina Sánchez, María de Lourdes	

Anexo 6. Fichas de recolección de datos ensayos Afirmado + 4% CaCl

PROCTOR MODIFICADO (MTC E 115 / ASTM D 1557)									
	Nombre de investigación		Influencia de la incorporación de cuatro niveles (1 %, 2% y 3% y 4%) de cloruro de calcio en la resistencia mecánica de un material para afirmado						
	Investigadores		María de Lourdes Medina Sánchez			Cristhian Rafael Rivera León			PROTOCOLO N°3 HOJAS 1 DE 1
	Fecha								
INFORMACIÓN GENERAL									
Tipo de material									
Cantera									
Cantidad de muestra									
Molde N°	Molde N°1		Molde N°2		Molde N°3		Molde N°4		
Peso molde (gr.)									
Wmh + molde (gr.)									
Whm (gr.)									
Vhm (cm ³)									
Dh (gr./cm ³)									
Recipiente N°	1	2	3	4	5	6	7	8	
Wt (gr.)									
Wmh + t (gr.)									
Wms + t (gr.)									
Ww (gr.)									
Wms (gr.)									
W (%)									
W promedio (%)									
Ds (gr./cm ³)									
 <p style="text-align: center;">OCH = Ds máx =</p>									
OBSERVACIÓN COMENTARIO									
APROBACIÓN									
Coordinador de laboratorio		Asesor de tesis		Investigadores					
Sr. Víctor Cuzco Minchán		Ing. Cubas Becerra Alejandro		Rivera León Cristhian Rafael		Medina Sánchez, María de Lourdes			

CALIFORNIA BEARING RATIO - CBR (MTC E 132 / ASTM D 1883)										
	Nombre de investigación		Influencia de la incorporación de cuatro niveles (1 %, 2%, 3% y 4%) de cloruro de calcio en la resistencia mecánica de un material para afirmado							
	Investigadores		María de Lourdes Medina Sánchez Cristhian Rafael Rivera León				PROTOCOLO N°4 HOJA 1 DE 2			
	Fecha									
INFORMACIÓN GENERAL										
Tipo de material										
Cantera										
Molde N°		Molde N°1		Molde N°2		Molde N°3				
N° de capas		5		5		5				
N° de golpes		12		26		55				
Condición de la muestra		sin saturar	saturado	sin saturar	saturado	sin saturar	saturado			
Peso molde (gr.)										
Wmh + molde (gr.)										
Wmh (gr.)										
Vhm (cm ³)										
Dh (gr./cm ³)										
Contenido de humedad										
Recipiente N°		1	2	3	4	5	6	7	8	9
Wt (gr.)										
Wmh + t (gr.)										
Wms + t (gr.)										
Ww (gr.)										
Wms (gr.)										
W (%)										
W promedio (%)										
Ds (gr./cm ³)										
Hinchamiento										
Tiempo acumulado		Molde N°1		Molde N°2		Molde N°4				
		Hinchamiento		Hinchamiento		Hinchamiento				
Horas	Días	mm.	%	mm.	%	mm.	%	mm.	%	
OBSERVACIÓN / COMENTARIO										
APROBACIÓN										
Coordinador de laboratorio		Asesor de tesis		Investigadores						
Sr. Cuzco Minchán, Víctor		Ing. Cubas Becerra, Alejandro		Rivera León, Cristhian Rafael		Medina Sánchez, María de Lourdes				

CALIFORNIA BEARING RATIO - CBR (MTC E 132 / ASTM D 1883)							
		Nombre de investigación		Influencia de la incorporación de cuatro niveles (1 %, 2%, 3% y 4%) de cloruro de calcio en la resistencia mecánica de un material para afirmado			
		Investigadores		María de Lourdes Medina Sánchez Cristhian Rafael Rivera León		PROTOCOLO N°4 HOJA 2 DE 2	
		Fecha					
INFORMACIÓN GENERAL							
Tipo de material							
Cantera							
Carga penetración							
Datos		D pisón=		A pisón=		F de carga=	
Penetración		Molde N°1		Molde N°2		Molde N°4	
mm.	Pulg	Carga (lb)	Esfuerzo (lb/pulg²)	Carga (lb)	Esfuerzo (lb/pulg²)	Carga (lb)	Esfuerzo (lb/pulg²)
0.00	0.000						
0.64	0.025						
1.27	0.050						
1.91	0.075						
2.54	0.100						
3.18	0.125						
3.81	0.150						
<p style="text-align: center;">CURVA ESFUERZO - PENETRACIÓN</p>  <p style="text-align: center;"> ● 12 Golpes ● 26 Golpes ● 55 Golpes </p>							
OBSERVACIÓN / COMENTARIO							
APROBACIÓN							
Coordinador de laboratorio		Asesor de tesis		Investigadores			
Sr. Cuzco Minchán, Víctor		Ing. Cubas Becerra, Alejandro		Rivera León, Cristhian Rafael		Medina Sánchez, María de Lourdes	

Anexo 7. Fichas de seguridad del cloruro de calcio