

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

Escuela Académico Profesional de Ingeniería Civil

Tesis

**Tratamiento de afirmados en sectores  
expuestos a cizallamiento unidireccional**

Jhordan Beltrán Montero

Para optar el Título Profesional de  
Ingeniero Civil

Huancayo, 2019

Repositorio Institucional Continental  
Tesis digital



Esta obra está bajo una Licencia "Creative Commons Atribución 4.0 Internacional" .

**ASESOR**

Msc. Ing. Augusto Elías García Corzo

## **AGRADECIMIENTO**

Al docente de la Universidad Continental y asesor de tesis, MSc. Ing. Augusto García Corzo, por la paciencia, inspiración y por el aporte de su experiencia profesional en investigación para el desarrollo de mi tesis.

A mis padres y familiares, por el apoyo y la confianza depositada.

A mis amigos, por su apoyo moral, palabras de aliento y su confianza.

## **DEDICATORIA**

A Dios y a mis padres, por su apoyo incondicional, por la confianza depositada y por sus consejos. Son mis ejemplos a seguir en el logro de mis objetivos.

A mis familiares, por los consejos, ejemplos y apoyo incondicional.

# ÍNDICE

PORTADA.....	I
ASESOR .....	II
AGRADECIMIENTO .....	III
DEDICATORIA.....	IV
ÍNDICE .....	V
LISTA DE TABLAS .....	VII
LISTA DE FIGURAS.....	IX
LISTA DE GRÁFICOS .....	XII
RESUMEN.....	XIII
ABSTRACT.....	XIV
INTRODUCCIÓN.....	XV
<b>CAPÍTULO I PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN .....</b>	<b>17</b>
1.1. PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	17
1.1.1. Planteamiento del problema.....	17
1.1.2. Formulación del problema .....	18
1.2. OBJETIVOS .....	19
1.2.1. Objetivo general .....	19
1.2.2. Objetivos específicos.....	19
1.3. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN.....	20
1.3.1. Justificación metodológica .....	20
1.3.2. Justificación práctica .....	20
1.3.3. Justificación económica.....	20
1.4. DELIMITACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN .....	20
1.4.1. Conceptual .....	20
1.4.2. Espacial .....	21
1.4.3. Temporal .....	21
1.5. HIPÓTESIS .....	21
1.5.1. Hipótesis general.....	21
1.5.2. Hipótesis específicas.....	21
1.6. VARIABLES.....	22
1.6.1. Variable independiente.....	22
1.6.2. Variable dependiente.....	22
<b>CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO .....</b>	<b>23</b>
2.1. ANTECEDENTES .....	23
2.1.1. Antecedentes internacionales .....	23
2.1.2. Antecedentes Nacionales.....	24
2.2. BASES TEÓRICAS .....	25
2.2.1. Dinámica del vehículo .....	25
2.2.2. Marcha de los vehículos en recta.....	29
2.2.3. Trayectoria de los vehículos en las curvas .....	31
2.2.4. Estabilización de pavimentos a nivel de afirmado .....	37
2.2.5. Esfuerzo y resistencia al cortante .....	46
2.3. MARCO CONCEPTUAL.....	48
<b>CAPÍTULO III METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN .....</b>	<b>50</b>
3.1. METODOLOGÍA Y RECOLECCIÓN DE DATOS .....	50
3.1.1. Tipo de investigación.....	50
3.1.2. Nivel de investigación.....	50
3.1.3. Diseño de investigación.....	51
3.1.4. Método de investigación.....	51

3.1.5.	Población y muestra .....	51
3.1.6.	Técnicas de recolección de datos .....	53
3.1.7.	Instrumentos de recolección de datos.....	53
3.1.8.	Técnicas de análisis de datos .....	54
3.2.	PROCEDIMIENTO METODOLÓGICO DE LA INVESTIGACIÓN .....	54
3.2.1.	Localización y ubicación de la muestra.....	55
3.2.2.	Trabajos de campo.....	56
3.2.3.	Caracterización inicial del material de suelo sin adición .....	62
3.2.4.	Selección de estabilizadores para mejorar la resistencia al cizallamiento unidireccional.....	74
3.2.5.	Tratamiento del material de suelo para afirmado.....	75
3.2.6.	Evaluación del esfuerzo de cizallamiento o de corte actuante producido por el vehículo en pendientes mayores a 5% y en curvas con radios menores a 20m .....	79
3.2.7.	Evaluación de los esfuerzos de resistencia al corte máximos del suelo de afirmado .....	82
<b>CAPÍTULO IV RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....</b>		<b>84</b>
4.1.	ANÁLISIS DE RESULTADOS .....	84
4.1.1.	Propiedades físicas y mecánicas del suelo a nivel de afirmado sin adición .....	84
4.1.2.	Efectos de las dosificaciones de adiciones para la estabilización del afirmado expuestas a cizallamiento unidireccional .....	90
4.2.	DISCUSIÓN DE RESULTADOS .....	104
4.2.1.	DISCUSIÓN 1:.....	104
4.2.2.	DISCUSIÓN 2:.....	105
4.2.3.	DISCUSIÓN 3:.....	106
4.2.4.	DISCUSIÓN 4:.....	107
<b>CONCLUSIONES.....</b>		<b>108</b>
<b>RECOMENDACIONES .....</b>		<b>110</b>
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>		<b>111</b>
<b>ANEXOS .....</b>		<b>113</b>

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1: Cantidad de ensayos a realizar.....	52
Tabla 2: Descripción de las canteras/calicatas de muestra extraídas.....	61
Tabla 3: Normas Técnicas de ensayos de suelos en laboratorio.....	62
Tabla 4: Masa mínima de la porción de suelo según el tamaño máximo.....	64
Tabla 5: Dosificación de las adiciones para estabilizar los suelos.....	74
Tabla 6: Tratamiento del material de suelo de afirmado.....	75
Tabla 7: Dosificación de las mezclas.....	77
Tabla 8: Dosificación de las mezclas.....	78
Tabla 9: Resistencia por rodadura.....	79
Tabla 10: Resistencia por pendiente.....	80
Tabla 11: Resistencia por la inercia.....	81
Tabla 12: Resistencia aerodinámica.....	81
Tabla 13: Fuerza de tracción total.....	82
Tabla 14: Evaluación del esfuerzo de cizallamiento o de corte actuante.....	82
Tabla 15: Resumen de resultados del contenido de humedad.....	85
Tabla 16: Resultado granulométrico del suelo a nivel de afirmado.....	85
Tabla 17: Porcentaje de suelo.....	86
Tabla 18: Resultados del Límite Líquido, plástico e índice de plasticidad.....	86
Tabla 19: Clasificación SUCS de muestras representativas.....	87
Tabla 20: Resultados del ensayo de Proctor Modificado.....	87
Tabla 21: Resultados del ensayo C.B.R.....	88
Tabla 22: Resultados del ensayo de corte directo C-01, M-1.....	88
Tabla 23: Resultados del ensayo de corte directo C-02, M-1.....	89
Tabla 24: Resumen de los Parámetros de Resistencia de cada calicata.....	89
Tabla 25: Resultados del ensayo de corte directo C-01 + 0.5% Cal Hidratada.....	90
Tabla 26: Resultados del ensayo de corte directo C-01 + 1.0% Cal Hidratada.....	91
Tabla 27: Resultados del ensayo de corte directo C-01 + 1.5% Cal Hidratada.....	92
Tabla 28: Resultados del ensayo de corte directo C-01 + 2.0% Cal Hidratada.....	92
Tabla 29: Resultados del ensayo de corte directo C-01 + 2.5% Cal Hidratada.....	93
Tabla 30: Resultados del ensayo de corte directo C-01 + 3.0% Cal Hidratada.....	94
Tabla 31: Resultados de los ensayos de corte directo con adiciones de cal hidratada.....	95
Tabla 32: Resultados de los ensayos de corte directo con adiciones de cal hidratada.....	96
Tabla 33: Resultados de los ensayos de CBR con adiciones de cal hidratada.....	97
Tabla 34: Resultados del ensayo de corte directo C-01 + 0.5% Cemento tipo I.....	98
Tabla 35: Resultados del ensayo de corte directo C-01 + 1.0% Cemento tipo I.....	98
Tabla 36: Resultados del ensayo de corte directo C-01 + 1.5% Cemento tipo I.....	99
Tabla 37: Resultados del ensayo de corte directo C-01 + 2.0% Cemento tipo I.....	100

Tabla 38: Resultados del ensayo de corte directo C-01 + 2.5% Cemento tipo I. ....	100
Tabla 39: Resultados del ensayo de corte directo C-01 + 3.0% Cemento tipo I. ....	101
Tabla 40: Resultados de los ensayos de corte directo con adiciones de cemento tipo I. ....	102
Tabla 41: Resultados de los ensayos de corte directo con adiciones de cemento tipo I. ....	103
Tabla 42: Resultados de los ensayos de CBR con adiciones de cemento tipo I. ....	104

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Fuerzas presentes en un vehículo en dirección a movimiento.....	25
Figura 2: Fuerza de rodadura.....	26
Figura 3: Fuerzas presentes en un vehículo en movimiento. ....	28
Figura 4: Dinámica longitudinal.....	30
Figura 5: Dinámica de frenado.....	31
Figura 6: Trayectoria de un vehículo en curva.....	32
Figura 7: Rozamiento por adherencia o por deformación.....	32
Figura 8: Diagrama de fuerzas actuantes sobre el vehículo en una curva.....	34
Figura 9: Superficie de contacto del neumático. ....	34
Figura 10: Círculo de adherencia.....	36
Figura 11: Porcentaje de aceleración versus ángulo de giro.....	37
Figura 12: Esfuerzo-deformación y presión cortante-presión normal.....	47
Figura 13: Esfuerzo-deformación y presión cortante-presión normal.....	48
Figura 14: Localización y ubicación política de la zona de muestra.....	55
Figura 15: Eje de la carretera Chupuro – Chancaccasa.....	56
Figura 16: Sectores críticos, curvas y pendientes considerables 7+320km, 8+810km.....	56
Figura 17: Sectores críticos, curvas y pendientes considerables 8+650, 9+200, 9+750km.....	57
Figura 18: Sectores críticos, curvas y pendientes considerables 12+200, 12+850, 15+780km.....	57
Figura 19: Sectores críticos, curvas y pendientes considerables 17+550, 20+500km.....	57
Figura 20: Sectores críticos, curvas y pendientes considerables 21+300, 22+450km.....	58
Figura 21: Km: 1+900, 5+340, ahuellamientos.....	58
Figura 22: Km: 6+520, 7+320, ahuellamientos.....	59
Figura 23: Km: 8+200, 8+820 ahuellamientos.....	59
Figura 24: Km: 12+600, 19+100, ahuellamientos.....	59
Figura 25: Km: 16+100, 17+000, ahuellamientos.....	60
Figura 26: Ejecución de la calicata C-1 de la carretera Chupuro – Chancaccasa.....	60
Figura 27: Ejecución de la calicata C-2 de la carretera Chupuro – Chancaccasa.....	61
Figura 28: Toma de muestras de las canteras Carhuapaccha (km 04+460), y de la cantera Socos (km 08+440).....	61
Figura 29: Pesado de las muestras y secado en el horno.....	63
Figura 30: Pesado del material y el proceso de tamizado.....	64
Figura 31: Realizando el ensayo de límite líquido y secado para pesar.....	66
Figura 32: Realizando el ensayo de límite plástico, formado de cilindros para secar en el horno.....	67
Figura 33: Ensayo de corte directo y muestras ensayadas.....	68
Figura 34: Gráfico de la forma de los resultados del ensayo de corte directo.....	69
Figura 35: Flujograma de la mezcla del afirmado con dosis de cal hidratada.....	76
Figura 36: Elaboración de especímenes con adición de cal para ser ensayada.....	76

Figura 37: Flujograma de la mezcla del afirmado con dosis de cemento andino tipo I. ....	77
Figura 38: Realización del espécimen con adición de cemento andino tipo I para ser ensayada. .	78
Figura 39: Sectores críticos identificados: curvas (radio < 20m) y pendientes mayores (P > 5%)	114
Figura 40: Toma de muestras de las canteras Carhuapaccha (km 04+460) y de la cantera Socos (km 08+440). ....	115
Figura 41: Determinación del contenido de humedad natural de las muestras.....	116
Figura 42: Análisis granulométrico por tamizado de las muestras. ....	116
Figura 43: Ensayos de límite líquido. ....	117
Figura 44: Ensayos de límite plástico. ....	117
Figura 45: Preparación de especímenes para el ensayo de corte directo-sin adición. ....	118
Figura 46: Preparación de especímenes para el ensayo de corte directo +% cal. ....	118
Figura 47: Preparación de especímenes para el ensayo de corte directo +% cemento. ....	119
Figura 48: Preparación de la caja de corte para realizar el ensayo de corte directo.....	119
Figura 49: Muestras ensayadas con el equipo de corte directo. ....	120
Figura 50: Ensayo de contenido de humedad sin adición (Muestra C-1). ....	121
Figura 51: Ensayo de límites de consistencia sin adición (Muestra C-1). ....	122
Figura 52: Ensayo de granulometría por tamizado sin adición (Muestra C-1). ....	123
Figura 53: Ensayo de Proctor Modificado sin adición (Muestra C-1).....	124
Figura 54: Ensayo de Relación de Soporte de California CBR sin adición (Muestra C-1). ....	125
Figura 55: Ensayo de Relación de Soporte de California CBR sin adición (Muestra C-1). ....	126
Figura 56: Ensayo de Corte Directo sin adición (Muestra C-1). ....	127
Figura 57: Ensayo de contenido de humedad sin adición (Muestra C-2). ....	128
Figura 58: Ensayo de límites de consistencia sin adición (Muestra C-2). ....	129
Figura 59: Ensayo de granulometría por tamizado sin adición (Muestra C-2). ....	130
Figura 60: Ensayo de Proctor Modificado sin adición (Muestra C-2).....	131
Figura 61: Ensayo de Relación de Soporte de California CBR sin adición (Muestra C-2). ....	132
Figura 62: Ensayo de Relación de Soporte de California CBR sin adición (Muestra C-2). ....	133
Figura 63: Ensayo de Corte Directo sin adición (Muestra C-2). ....	134
Figura 64: Ensayo de Corte Directo + 0.5% cal (Muestra C-1).....	135
Figura 65: Ensayo de Corte Directo + 1.0% cal (Muestra C-1).....	136
Figura 66: Ensayo de Corte Directo + 1.5% cal (Muestra C-1).....	137
Figura 67: Ensayo de Corte Directo + 2.0% cal (Muestra C-1).....	138
Figura 68: Ensayo de Corte Directo + 2.5% cal (Muestra C-1).....	139
Figura 69: Ensayo de Corte Directo + 3.0% cal (Muestra C-1).....	140
Figura 70: Ensayo de Relación de Soporte de California CBR + 2.0% cal (Muestra C-1). ....	141
Figura 71: Ensayo de Relación de Soporte de California CBR + 2.0% cal (Muestra C-1). ....	142
Figura 72: Ensayo de Relación de Soporte de California CBR + 4.0% cal (Muestra C-1). ....	143
Figura 73: Ensayo de Relación de Soporte de California CBR + 4.0% cal (Muestra C-1). ....	144
Figura 74: Ensayo de Relación de Soporte de California CBR + 6.0% cal (Muestra C-1). ....	145

Figura 75: Ensayo de Relación de Soporte de California CBR + 6.0% cal (Muestra C-1). .....	146
Figura 76: Ensayo de Relación de Soporte de California CBR + 8.0% cal (Muestra C-1). .....	147
Figura 77: Ensayo de Relación de Soporte de California CBR + 8.0% cal (Muestra C-1). .....	148
Figura 78: Ensayo de Corte Directo + 0.5% cemento (Muestra C-1). .....	149
Figura 79: Ensayo de Corte Directo + 1.0% cemento (Muestra C-1). .....	150
Figura 80: Ensayo de Corte Directo + 1.5% cemento (Muestra C-1). .....	151
Figura 81: Ensayo de Corte Directo + 2.0% cemento (Muestra C-1). .....	152
Figura 82: Ensayo de Corte Directo + 2.5% cemento (Muestra C-1). .....	153
Figura 83: Ensayo de Corte Directo + 3.0% cemento (Muestra C-1). .....	154
Figura 84: Ensayo de Relación de Soporte de California CBR + 2.0% cemento (Muestra C-1)...	155
Figura 85: Ensayo de Relación de Soporte de California CBR + 2.0% cemento (Muestra C-1)...	156
Figura 86: Ensayo de Relación de Soporte de California CBR + 4.0% cemento (Muestra C-1)...	157
Figura 87: Ensayo de Relación de Soporte de California CBR + 4.0% cemento (Muestra C-1)...	158
Figura 88: Ensayo de Relación de Soporte de California CBR + 6.0% cemento (Muestra C-1)...	159
Figura 89: Ensayo de Relación de Soporte de California CBR + 6.0% cemento (Muestra C-1)...	160
Figura 90: Ensayo de Relación de Soporte de California CBR + 8.0% cemento (Muestra C-1)...	161
Figura 91: Ensayo de Relación de Soporte de California CBR + 8.0% cemento (Muestra C-1)...	162

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Esfuerzo normal vs Esfuerzo cortante C-01, M-1. ....	88
Gráfico 2: Esfuerzo normal vs Esfuerzo cortante C-02, M-1. ....	89
Gráfico 3: Esfuerzo normal vs Esfuerzo cortante C-01 + 0.5% cal.....	91
Gráfico 4: Esfuerzo normal vs. Esfuerzo cortante C-01 + 1.0% cal.....	91
Gráfico 5: Esfuerzo normal vs. Esfuerzo cortante C-01 + 1.5% cal.....	92
Gráfico 6: Esfuerzo normal vs. Esfuerzo cortante C-01 + 2.0% cal.....	93
Gráfico 7: Esfuerzo normal vs. Esfuerzo cortante C-01 + 2.5% cal.....	93
Gráfico 8: Esfuerzo normal vs. Esfuerzo cortante C-01+ 3.0% cal.....	94
Gráfico 9: Corte directo del suelo + %Cal. ....	95
Gráfico 10: Esfuerzo cortante vs. % Adición de Cal. ....	96
Gráfico 11: % CBR vs. % Cal Hidratada. ....	97
Gráfico 12: Esfuerzo normal vs. Esfuerzo cortante C-01 + 0.5% cemento tipo I.....	98
Gráfico 13: Esfuerzo normal vs. Esfuerzo cortante C-01 + 1.0% cemento tipo I.....	99
Gráfico 14: Esfuerzo normal vs. Esfuerzo cortante C-01 + 1.5% cemento tipo I.....	99
Gráfico 15: Esfuerzo normal vs. Esfuerzo cortante C-01 + 2.0% cemento tipo I.....	100
Gráfico 16: Esfuerzo normal vs. Esfuerzo cortante C-01 + 2.5% cemento tipo I.....	101
Gráfico 17: Esfuerzo normal vs. Esfuerzo cortante C-01+ 3.0% cemento tipo I.....	101
Gráfico 18: Corte directo del suelo + Cemento. ....	102
Gráfico 19: Esfuerzo cortante vs % Adición de Cemento tipo I. ....	103
Gráfico 20: % CBR vs % Cemento tipo I.....	104

## RESUMEN

La presente investigación denominada “Tratamiento de afirmados en sectores expuestos a cizallamiento unidireccional” se realiza en base al mejoramiento del material de afirmado en los sectores críticos como curvas con radios menores a 20 m y pendientes mayores al 5%, donde ocurren las fuerzas de cizallamiento unidireccional producidas por los vehículos. En el presente estudio, se realizó el tratamiento del afirmado mediante el uso de dosificaciones de adiciones de cal y cemento y los efectos a que conllevan estas dosificaciones en la evaluación del cizallamiento unidireccional en el afirmado de la carretera Chupuro – Chancaccasa – Junín. Por lo que se realizó la determinación de las propiedades mecánicas resistentes del suelo a nivel de afirmado con y sin adiciones, con el fin de ver la mejora en la resistencia a los esfuerzos de corte o de cizallamiento originados por los vehículos. Esto mediante los ensayos de corte directo para las diferentes dosificaciones de cal hidratada y cemento tipo I.

La metodología de investigación se basa en el mejoramiento ante los esfuerzos máximos de resistencia al corte del suelo de afirmado; para esto, primero se evaluó los parámetros de resistencia como el esfuerzo de corte máximo resistente sin adición, para luego compararlo con el esfuerzo de cizallamiento actuante producido por el vehículo liviano, en base a esto se plantea mejorar sus propiedades con cal y cemento con la finalidad de incrementar los parámetros de resistencia al corte o cizallamiento. Cabe mencionar que los sectores críticos expuestos a estos esfuerzos de corte o cizallamiento unidireccional se originan en sectores con curvas de radios menores a 20 m y pendientes mayores al 5%.

Finalmente, se determina que la dosificación óptima de mejoramiento tratado para superar los esfuerzos de cizallamiento producidos por los vehículos livianos son de 2.35% de cal hidratada y del tratamiento con cemento resulta una dosificación óptima de 2.03% de cemento tipo I.

**Palabras clave:** Cizallamiento unidireccional, dinámica del vehículo en movimiento, fuerzas de tracción, fuerzas centrífugas, tratamiento de suelos, esfuerzo resistente al corte máximo, corte directo.

## ABSTRACT

In the present investigation called "Treatment of affirmed in sectors exposed to unidirectional shearing", the affirmation material is improved in critical sectors such as curves with radius less than 20m and slopes greater than 5% where unidirectional shear forces occur by vehicles, so the treatment of the affirmed was carried out through the use of dosages of additions such as lime and cement. Which in this work the effects of the dosages are determined using additions of lime and cement, in the evaluation of the unidirectional shear in the affirmation of the Chupuro-Chancaccasa-Junín road. Therefore, the determination of the resistant mechanical properties of the soil at the level of affirmation with and without additions was carried out, in order to see the improvement in resistance to shear or shear stresses caused by vehicles. This by means of the direct cutting tests for the different dosages of hydrated lime and type I cement.

The research methodology, was based on the improvement before the maximum stresses of resistance to the cutting of the ground of affirmed, for this first the resistance parameters were evaluated as the maximum strength of cut resistant without addition, to then compare it with the shear effort Actuator produced by the light vehicle, based on this, it is proposed to improve its properties with lime and cement, in order to increase the parameters of shear or shear resistance. It is worth mentioning that the critical sectors exposed to these unidirectional shear or shear stresses originate in sectors such as curves with radius less than 20 m and slopes greater than 5%, so the calculations will be developed considering these.

Finally, it is determined that the optimum improvement dosage treated to overcome the shear stresses produced by light vehicles is 2.35% hydrated lime, and from the cement treatment results in an optimal dosage of 2.03% type I cement.

**Keywords:** Moving vehicle dynamics, unidirectional shear, tensile forces, centrifugal forces, soil treatment, maximum shear stress, direct cutting

## INTRODUCCIÓN

El suelo es de mucha importancia dentro de un proyecto de construcción, ya que se encarga de dar a la estructura un comportamiento estable y, por lo tanto, haciendo muy importante los estudios de geotecnia y mecánica de suelos para conocer las propiedades físicas y mecánicas del suelo para los diferentes diseños de infraestructura ingenieril.

Se debe realizar ensayos de laboratorio para determinar estas propiedades físicas y mecánicas del suelo como ensayos de granulometría, límites de consistencia, corte directo, proctor modificado y el valor relativo de soporte CBR para los casos de obras viales que hacen de estos resultados indispensables en el diseño de las infraestructuras.

El presente trabajo de investigación tiene como objetivo principal determinar el efecto del tratamiento de afirmados de sectores expuestos a cizallamiento unidireccional de la carretera Chupuro - Chancaccasa en Huancayo. Para evaluar esta problemática, se realiza ensayos de corte directo con diferentes porcentajes de adiciones de 0.5%, 1%, 1.5%, 2%, 2.5% y 3% hasta que el suelo ensayado obtenga un esfuerzo de resistencia al corte máximo superior al esfuerzo de cizallamiento unidireccional producido por los vehículos en las curvas y pendientes considerables, las cuales estos sectores críticos como los tramos de las curvas con radios menores a 20 m son aproximadamente 15% y los tramos con pendiente mayores al 5% llegan al 17% aproximadamente en longitud de la carretera Chupuro – Chancaccasa, que tiene una longitud aproximada de 24.02 km de carretera afirmada.

La presente investigación consta de cinco capítulos:

El capítulo I describe el planteamiento de la investigación donde se aprecia la problemática, objetivos, justificación, delimitación de la investigación, formulación de la hipótesis y las variables que se investigan.

En el capítulo II, se presenta el marco teórico que describe los antecedentes respecto a los tipos de tratamientos de suelos para mejorar la capacidad de resistencia al corte. En las bases teóricas, se presentan y describen puntos importantes para la investigación como cizallamiento unidireccional, fuerzas de tracción, fuerzas centrífugas producto del giro de los vehículos, estabilización del suelo.

En el capítulo III, se presenta el marco metodológico, detallando el tipo, nivel, diseño y método de la investigación. Aquí también se describe la población, muestra, instrumentos para la recolección y análisis de datos.

En el capítulo IV, se analiza y discute los resultados, en los cuales se presentan la evaluación de los esfuerzos que se producen, así como los resultados de los ensayos que se realizaron con y sin adiciones de estabilizadores de cal y cemento.

En el capítulo V, se responde a las preguntas de los problemas de investigación mediante las conclusiones y recomendaciones.

Finalmente, se presentan los anexos que comprenden los ensayos de laboratorio realizados, memorias de cálculo y el panel fotográfico.

# **CAPÍTULO I**

## **PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN**

### **1.1. PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA**

#### **1.1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

El crecimiento rural y urbano en el Perú se ha incrementado debido a las construcciones de ingeniería en todo el país, más aún en la construcción de obras de carreteras a nivel de afirmado; es aquí donde el suelo llega a tener una importante participación. En muchas obras, se encuentran suelos de baja capacidad portante que necesitan ser cambiados o ser mejorados para que cumplan con los parámetros exigidos por el Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC); actualmente, para mejorar la capacidad portante o de soporte del material de afirmado, se adicionan conglomerados, productos asfálticos y geosintéticos, esto según el tipo de suelo y la importancia de la red vial. Por lo que las obras de construcción de carreteras a nivel de afirmado son muy realizadas, pero, a pesar de que se tiene un amplio conocimiento en este tipo de obras viales, ocurre un sinnúmero de deterioros y fallas en el componente estructural de la carretera, lo cual nos conduce a detectar posibles causas de deterioro o fallas que afectan el comportamiento estructural de la carpeta de afirmado.

Es por esto que, a pesar de que existe el problema de la baja capacidad portante y cohesión del material granular de la capa de afirmado, otro de los problemas críticos e influyentes en el deterioro de la capa de afirmado en zonas críticas es el sometimiento de las fuerzas de cizallamiento o esfuerzos unidireccionales en curvas y pendientes de la carretera, debido a que en estas zonas críticas las fuerzas de corte o cizallamiento son mayores a las zonas planas o de baja pendiente.

La presente investigación nace a razón de estos tipos de deterioros de la carretera, estos sectores críticos como los tramos de las curvas con radios menores a 20 m son aproximadamente 15% y los tramos con pendiente mayores al 5% llegan al 17%, aproximadamente, del tramo total de la carretera Chupuro – Chancaccasa, la cual tiene una longitud aproximada de 24.02 km de carretera afirmada.

Como se puede apreciar, los sectores críticos corresponden a un total de 7.70 km que son sectores donde ocurren estos tipos de fallas, para lo cual, se busca aumentar la duración de la capa de afirmado de estos sectores críticos. Las zonas críticas identificadas, como las curvas horizontales con radios menores al mínimo de 20 m y pendientes mayores al 5%, son las que mayormente sufren los esfuerzos de cizallamiento unidireccional debido a los esfuerzos generados por los vehículos, por lo que, en esta investigación, se propone mejorar y aumentar la resistencia al corte utilizando adiciones de cal y cemento, para determinar cuál se comporta mejor a los esfuerzos de corte y qué porcentaje de adición es el óptimo para superar los esfuerzos producidos actuantes en el suelo.

Es debido a estos fenómenos que surge la necesidad de estabilizar las zonas críticas como zonas de curvas y pendientes considerables que sufren mayores esfuerzos de cizallamiento o de corte, pero sin descuidar la capacidad de soporte que esta debe tener, con lo cual se busca evaluar diversas formas de estabilizar la capa estructural de la carretera.

Como ya se mencionó anteriormente, el fin de la investigación es el de incrementar la capacidad de resistencia al corte que es provocada por las fuerzas de cizallamiento o de corte producto de las fuerzas de tracción de los vehículos, que se producen en estos sectores críticos como curvas y pendientes considerables, con la finalidad de que el mejoramiento del afirmado sea para ambas capacidades de resistencia, las cuales son resistencia al corte o cizallamiento y a la resistencia de soporte.

## **1.1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA**

### **1.1.2.1. Problema general**

- ¿Cuál es el efecto del tratamiento de afirmados en sectores expuestos a cizallamiento unidireccional de la carretera Chupuro – Chancaccasa en Huancayo?

### **1.1.2.2. Problemas específicos**

- ¿Cómo afecta el tratamiento del afirmado con la adición de cal en el cizallamiento unidireccional en la carretera Chupuro – Chancaccasa en Huancayo?
- ¿De qué manera afecta el tratamiento del afirmado con la adición de cemento en el cizallamiento unidireccional en la carretera Chupuro – Chancaccasa en Huancayo?
- ¿Cuál es el tratamiento del afirmado en proporciones óptimas de cal y cemento para contrarrestar el cizallamiento unidireccional en la carretera Chupuro – Chancaccasa en Huancayo?

## **1.2. OBJETIVOS**

### **1.2.1. OBJETIVO GENERAL**

- Determinar el efecto del tratamiento de afirmados en sectores expuestos a cizallamiento unidireccional de la carretera Chupuro – Chancaccasa en Huancayo.

### **1.2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Comprobar cómo afecta el tratamiento del afirmado con la adición de cal en el cizallamiento unidireccional en la carretera Chupuro – Chancaccasa en Huancayo.
- Determinar cómo afecta el tratamiento del afirmado con la adición de cemento en el cizallamiento unidireccional en la carretera Chupuro – Chancaccasa en Huancayo.
- Demostrar el tratamiento del afirmado en proporciones óptimas de cal y cemento para contrarrestar el cizallamiento unidireccional en la carretera Chupuro – Chancaccasa en Huancayo.

### **1.3. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN**

#### **1.3.1. JUSTIFICACIÓN METODOLÓGICA**

La presente investigación propone estabilizar los sectores expuestos al cizallamiento unidireccional de la carretera Chupuro – Chancaccasa – Huancayo, donde, por medio de ensayos de corte directo en laboratorio, se logrará incrementar el esfuerzo de resistencia al corte máximo que es necesario realizar en las curvas y pendientes considerables, porque es aquí donde se encuentra y origina el mayor desgaste debido a estos esfuerzos, para lo cual se propone un tratamiento con adiciones de cal y cemento.

#### **1.3.2. JUSTIFICACIÓN PRÁCTICA**

En la presente investigación, se busca determinar las dosificaciones óptimas de adiciones como cal y cemento para contrarrestar los esfuerzos de cizallamiento originados por los vehículos. En nuestra calidad de profesionales inmersos en la construcción y al tomar decisiones acertadas, se realiza una evaluación en los sectores críticos como curvas y pendientes, donde se origina el mayor desgaste del suelo a nivel de afirmado.

#### **1.3.3. JUSTIFICACIÓN ECONÓMICA**

La investigación brinda información fundamental para proyectos posteriores; además, permite evaluar mejor los sectores críticos de una carretera a nivel de afirmado, lo cual permitiría ahorrar tiempo y costo en el mantenimiento posterior de la carretera.

### **1.4. DELIMITACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN**

#### **1.4.1. CONCEPTUAL**

La presente investigación contempla conceptos de dinámica de vehículos en movimiento, así como esfuerzos de cizallamiento originados en sectores críticos donde existe mayor desgaste en la carretera como son las curvas con radios mínimos y pendientes mayores al 5 %. Esta investigación se enfocó en el tratamiento del afirmado para contrarrestar los mayores esfuerzos de cizallamiento,

mediante las adiciones de cal y cemento en diferentes dosificaciones. Para esta evaluación, se realizó ensayos de corte directo de las muestras con y sin adiciones de cal y cemento.

#### **1.4.2. ESPACIAL**

La presente investigación se desarrolla en base a la identificación del problema, el cual, mediante la realización de ensayos del suelo, se logrará los objetivos; estos ensayos del suelo se desarrollaron en un laboratorio de mecánica de suelos externo y algunas muestras se realizaron en los laboratorios de la Universidad Continental.

#### **1.4.3. TEMPORAL**

El desarrollo del proyecto de investigación, así como la obtención de los datos, toma de las muestras y ensayos realizados en laboratorio, se realizaron durante los meses de enero y febrero del año 2019.

### **1.5. HIPÓTESIS**

#### **1.5.1. HIPÓTESIS GENERAL**

- El tratamiento de afirmados en sectores críticos contrarresta el efecto del cizallamiento unidireccional de la carretera Chupuro – Chancaccasa en Huancayo.

#### **1.5.2. HIPÓTESIS ESPECÍFICAS**

- El tratamiento del afirmado con la adición de cal acrecienta el esfuerzo de cizallamiento unidireccional en la carretera Chupuro – Chancaccasa en Huancayo.
- El tratamiento del afirmado con la adición de cemento merma el esfuerzo de cizallamiento unidireccional en la carretera Chupuro – Chancaccasa en Huancayo.

- El tratamiento del afirmado en proporciones óptimas de cal y cemento contrarresta el efecto del cizallamiento unidireccional en la carretera Chupuro – Chancaccasa en Huancayo.

## **1.6. VARIABLES**

### **1.6.1. VARIABLE INDEPENDIENTE**

- Tratamiento de afirmado con adición de cal.
- Tratamiento de afirmado con adición de cemento.

### **1.6.2. VARIABLE DEPENDIENTE**

- Resistencia al esfuerzo de cizallamiento unidireccional.

## **CAPÍTULO II**

### **MARCO TEÓRICO**

#### **2.1. ANTECEDENTES**

##### **2.1.1. ANTECEDENTES INTERNACIONALES**

(Rodas Jaramillo, y otros, 2015), para optar el grado de Ingeniero Civil, sustentó en la Universidad de Cuenca de Ecuador la tesis titulada: “Estudio de las envolventes consolidaciones – drenadas mediante ensayos de corte directo para el análisis de estabilidad de las presas de tierra del proyecto Pacalori”. La investigación tiene como aplicación los ensayos de consolidación - drenado (lento) con el equipo de corte directo sobre muestras compactadas y saturadas de suelos que constituirán la cortina de la presa de tierra Chojampe 2, pertenecientes al Proyecto PACALORI. Se analizó la forma en que se deben compactar estos suelos en obra, teniendo en cuenta que se tratan de suelos no aptos. Se planteó como objetivo el análisis comparativo de la envolvente consolidada – drenada obtenida en ensayos de corte directo y triaxial. Se usó como metodología experimental, con lo que los resultados obtenidos, utilizando las pruebas de corte directo lento y las de compresión triaxial consolidado-no drenado, con medición de poro, son similares en este caso de suelo no limoso de alta plasticidad (MH), pero el tiempo requerido con el primero mencionado es mucho mayor, teniendo un tiempo de corte con el equipo de corte directo lento para alcanzar una deformación unitaria de 305% fue casi 100 horas.

(Bahamondez Ortiz, 2010), para optar el grado de Ingeniero Constructor, sustentó en la Universidad de Magallanes de Chile la tesis titulada: “Implementación del equipo de corte directo y su aplicación en algunos suelos típicos de Punta Arenas”. En el presente proyecto, se evaluó la fabricación y que se deje en funcionamiento

el conjunto de Corte Directo que se dispone el laboratorio Austro – Umag de la Universidad de Magallanes con su debido manual de funcionamiento y calibración con ensayos, se dispondrá de una herramienta con la que, en la actualidad, la región no cuenta, y que servirá para la implementación de las asignaturas geotécnicas. Se planteó como objetivo la implementación de un equipo de corte directo fabricado por la empresa WykehamFarrance, pertenecientes al laboratorio Austro – Umag de la Universidad de Magallanes. Se usó como metodología experimental, en el cual se obtuvo como resultado el funcionamiento acorde a todas las normas existentes.

(Arriaga Vazquez, 2006), para optar el grado de Maestría en Ingeniería, sustentó en la Universidad Nacional Autónoma de México la tesis titulada: “Aspectos constructivos de la técnica de compactación dinámica para mejoramiento masivo de suelos”. El presente proyecto evaluó la compactación dinámica que es un método que consiste en aplicar impactos de gran energía en la superficie del suelo, dejando caer de 2 a 10 veces en el mismo lugar masas de 10 a 40 tn de peso desde alturas de 40 m, siguiendo un patrón de cuadrícula con espaciamientos entre 1.8 y 5.0 m. Se planteó como objetivos principales: incrementar la resistencia al esfuerzo cortante, disminuir la deformabilidad de los suelos y prevenir la licuación de arenas en zonas sísmicas. Tiene limitaciones en zonas urbanas, debido a las vibraciones, ruido y la posible voladura de escombros que puedan dañar construcciones o servicios cercanos. Se usó como metodología experimental, en la cual se obtuvo como resultado que es más eficiente en suelos permeables, con nivel freático a profundidades mayores de 2 metros con respecto a la superficie del terreno, sin capas duras o blandas que afecten la profundidad de mejoramiento establecido.

### **2.1.2. ANTECEDENTES NACIONALES**

(Chillihuani Chillihuani, 2017), para optar el grado de Ingeniero Civil, sustentó en la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco la tesis titulada: “Diseño e implementación de un equipo de corte directo para suelos gravosos y su aplicación típicos de Cusco”. La presente investigación está referida al diseño, construcción e implementación de un equipo de corte directo a gran escala en el laboratorio con 30 cm de diámetro y 25 cm de altura, para la cuantificación de los parámetros de resistencia cortante de los suelos gravosos. El diseño del equipo y la ejecución de los ensayos fueron establecidos teniendo como referencia la norma ASTM D 3080.

Se planteó como objetivo la evaluación de los parámetros de resistencia de los suelos gravosos ensayados con el equipo de corte directo a gran escala, la cual se efectuó mediante el criterio propuesto por Coulomb.

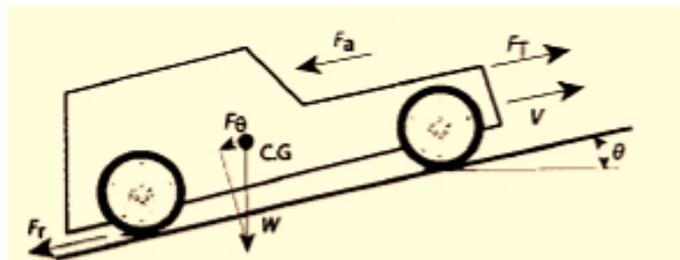
## 2.2. BASES TEÓRICAS

### 2.2.1. DINÁMICA DEL VEHÍCULO

Según las leyes de la mecánica clásica, cualquier cuerpo que deba moverse de forma continua y uniforme deberá recibir una fuerza impulsora que iguale y anule las fuerzas que se opongan al movimiento.

Las fuerzas resistentes que se oponen al movimiento del vehículo son teorías y cálculos que se han obtenido según (Muñoz Gracia, 1974) y describen cuatro fuerzas resistentes mostradas a continuación:

Figura 1: Fuerzas presentes en un vehículo en dirección a movimiento.



Fuente: (Ramirez Morales, 2017)

#### 2.2.1.1. Resistencia por rodadura

Esta fuerza resistente se crea porque las ruedas están en contacto con una superficie. El neumático se deforma debido al peso del vehículo, y al ponerse en movimiento se crea un roce entre la rueda y el asfalto (para nuestra investigación, el suelo será el afirmado). El cálculo de la resistencia se hará mediante la siguiente fórmula. (Sarria Menchaca, 2017)

Figura 2: Fuerza de rodadura.



Fuente: (Ramirez Morales, 2017)

$$Fr = (P + Pmax) \cdot \mu r \dots \dots (ec. 1)$$

Donde:

Fr: Resistencia por rodadura (kg)

P: Peso del vehículo (kg)

Pmax.: Carga máxima del vehículo (kg)

$\mu r$ : Coeficiente de rodadura del afirmado (0.15)

### 2.2.1.2. Resistencia por pendiente

Es la resistencia que se opone al automóvil subiendo un tramo ascendente. Las pendientes ascendentes son expresadas en tanto por ciento, que significa la variación de la altura en relación al avance realizado. (Sarria Menchaca, 2017)

$$Fp = (P + Pmax) \cdot \frac{x}{100} \dots \dots (ec. 2)$$

Donde:

Fp: Resistencia por pendiente (kg)

P: Peso del vehículo (kg)

Pmax.: Carga máxima del vehículo (kg)

x: Pendiente máxima %

### 2.2.1.3. Resistencia por la inercia

La inercia es la propiedad que tienen los objetos de permanecer en su estado, ya sea en estado de reposo o movimiento. Por lo tanto, se produce cuando hay variaciones de velocidad. El incremento de velocidad máximo que pueden sufrir los vehículos ligeros es de 0 a 100 km/h en un tiempo de 8.2 segundos. (Sarria Menchaca, 2017)

$$F_i = P \cdot a \dots \dots (ec. 3)$$

$$v = v_0 + a \cdot t \dots \dots (ec. 4)$$

Donde:

Fi: Resistencia por la inercia (kg)

P: Peso del vehículo (kg)

a: Aceleración (m/s<sup>2</sup>)

t: Tiempo (s)

v: Velocidad del vehículo (m/s)

v<sub>0</sub>: Velocidad inicial del vehículo (m/s)

### 2.2.1.4. Resistencia aerodinámica

La resistencia aerodinámica es la fuerza opuesta que ejerce el aire cuando el automóvil está en movimiento. Esta resistencia depende de las dimensiones, la forma, la velocidad a la que circula el vehículo y la densidad del aire. Este valor se obtiene mediante la siguiente fórmula. (Sarria Menchaca, 2017)

$$F_a = \frac{\gamma \cdot C \cdot S \cdot V_{max}^2}{2 \cdot g} \dots \dots (ec. 5)$$

Donde:

Fa: Resistencia aerodinámica (kg)

C: Coeficiente obtenido por el fabricante (0.31)

S: Superficie transversal del vehículo (m<sup>2</sup>)

$\gamma$ : Peso específico del aire (1.2 kg/m<sup>3</sup>)

$V_{max.}$ : Velocidad máxima del vehículo (km/h)

$g$ : Gravedad (9.81 m/s<sup>2</sup>)

### 2.2.1.5. Fuerzas de tracción

Esta fuerza de tracción es el resultado de la transmisión del momento desarrollado por el motor en régimen estable, la cual viene a ser la suma de las fuerzas de resistencia de rodadura, resistencia por pendiente, resistencia por la inercia y resistencia aerodinámica. (Ramirez Morales, 2017)

$$F_t = F_r + F_p + F_i + F_a \dots \dots (ec. 6)$$

Donde:

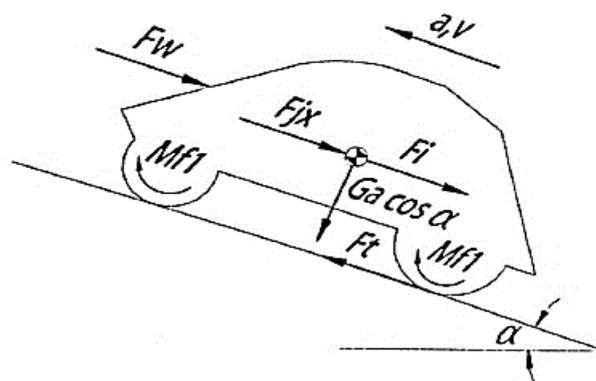
$F_r$ : Resistencia por rodadura (kg)

$F_p$ : Resistencia por pendiente (kg)

$F_i$ : Resistencia por la inercia (kg)

$F_a$ : Resistencia aerodinámica (kg)

Figura 3: Fuerzas presentes en un vehículo en movimiento.



Fuente: (Ramirez Morales, 2017)

## 2.2.2. MARCHA DE LOS VEHÍCULOS EN RECTA

El estudio del movimiento de un vehículo en línea recta o según su definición técnica se denomina la dinámica longitudinal del vehículo, comprende el estudio del comportamiento del automóvil cuando circula en recta o en curvas de radios amplios. En estas circunstancias, se desprecian tanto la aceleración lateral como el resto de esfuerzos que crean sobre el vehículo.

Para ello, se aplican las ecuaciones fundamentales de la mecánica al eje longitudinal del vehículo, así como también al eje vertical del mismo, con lo cual se va definiendo los esfuerzos resistentes que actúan sobre el desplazamiento y estableciendo los esfuerzos tractores que son necesarios para vencer dichas resistencias. (Mozota Azcutia, 2014)

### 2.2.2.1. Esfuerzos verticales

El componente vertical del peso del vehículo se contrarresta con la fuerza de reacción del suelo sobre los neumáticos. Con el vehículo en marcha, aparece también una fuerza aerodinámica vertical hacia arriba, que también es función cuadrática de la velocidad. Esta fuerza ascensional hace que disminuya el peso aparente del vehículo y, si bien no es relevante a velocidades legales, a alta velocidad disminuye la fuerza normal ejercida por el suelo y, en consecuencia, la capacidad de tracción por adherencia, lo cual, como veremos más adelante, puede llegar a ser crítico en el paso por curva. (Mozota Azcutia, 2014)

### 2.2.2.2. Dinámica longitudinal

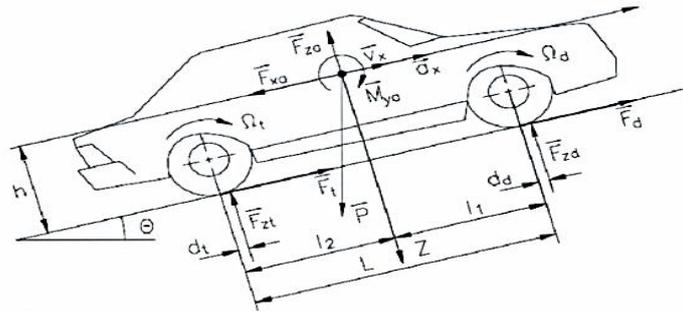
Al aplicar las ecuaciones sobre el vehículo en sentido longitudinal, tenemos, en primer lugar, las fuerzas resistivas (rodadura, pendiente, inercia y aerodinámica). En oposición a estas fuerzas resistivas, está el esfuerzo tractor proporcionado por el motor.

Si el esfuerzo tractor supera a las fuerzas resistivas, habrá una fuerza neta  $\vec{F}$  hacia delante que impulsará al vehículo con un movimiento

uniformemente acelerado  $\vec{a} = \frac{\vec{F}}{m}$ .

Cuando el esfuerzo tractor sea igual a las fuerzas resistivas, la fuerza neta  $\vec{F}$  será igual a cero; por tanto, la aceleración también será nula y el vehículo se moverá con velocidad constante. Si el esfuerzo motor no es capaz de igualar a las fuerzas resistivas, el vehículo sufrirá una deceleración e irá perdiendo velocidad. (Mozota Azcutia, 2014)

**Figura 4: Dinámica longitudinal.**



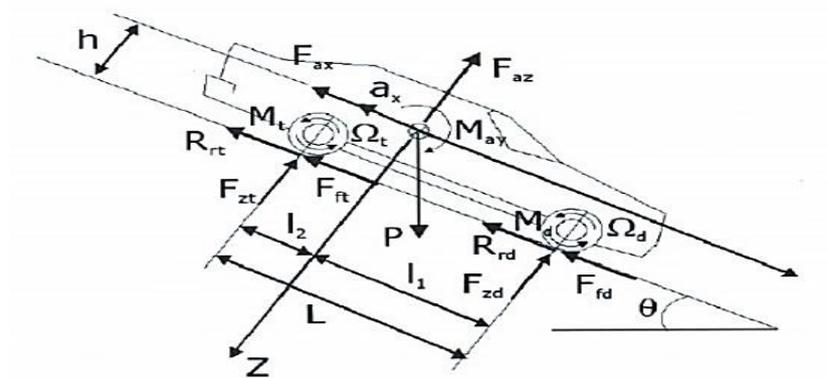
**Fuente: (Mozota Azcutia, 2014)**

### 2.2.2.3. Dinámica de frenado

El frenado es el proceso por el que se permite reducir la velocidad del vehículo en marcha llegando, si fuera preciso, según la voluntad del conductor a detenerlo. En el proceso, se hace necesario vencer tanto las resistencias de las masas rotativas de las ruedas como la propia desaceleración. Representa uno de los sistemas fundamentales del automóvil, tanto en lo referente a la seguridad como en materia de estabilidad, requiriendo un correcto reparto de la fuerza de frenado.

En el modelo de frenado, se acepta como hipótesis que el vehículo es un sólido rígido en movimiento rectilíneo uniforme. Como se puede apreciar, en él aparecen las fuerzas de frenado por eje,  $F_{fd}$  y  $F_{ft}$ , así como la resistencia a la rodadura al representar centrada las fuerzas sobre los neumáticos. (Mozota Azcutia, 2014)

Figura 5: Dinámica de frenado.



Fuente: (Mozota Azcutia, 2014)

## 2.2.3. TRAYECTORIA DE LOS VEHÍCULOS EN LAS CURVAS

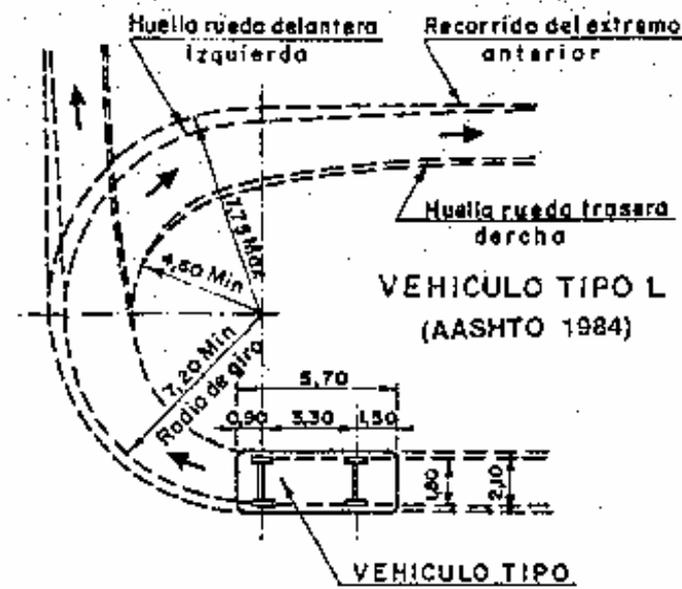
### 2.2.3.1. Diseño de la traza de una carretera

Para cambiar la trayectoria de un vehículo, el conductor acciona el volante, haciendo variar el ángulo que forman las ruedas delanteras con la dirección del eje del vehículo.

Definimos radio de giro mínimo de un vehículo, que viene a ser el radio de la circunferencia descrita por su rueda delantera exterior al girar a pequeña velocidad cuando su dirección ha sido girada totalmente.

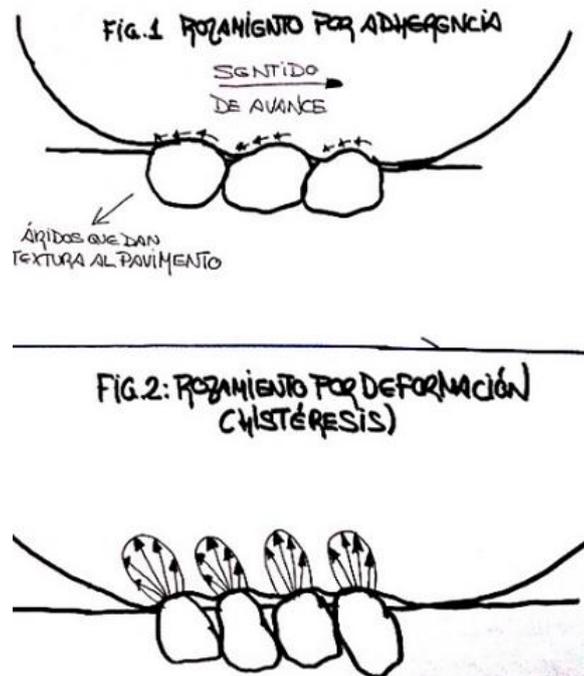
Se puede demostrar que, cuando un vehículo toma una curva a velocidad constante, el radio de curvatura de la trayectoria del vehículo es inversamente proporcional a la longitud de la curva recorrida. Esta es la definición de la clotoide, por ello, las curvas de transición en una carretera desde el tramo recto hasta el tramo de circunferencia es una clotoide. (Mozota Azcutia, 2014)

Figura 6: Trayectoria de un vehículo en curva.



Fuente: (Mozota Azcutia, 2014)

Figura 7: Rozamiento por adherencia o por deformación.



Fuente: (Mozota Azcutia, 2014)

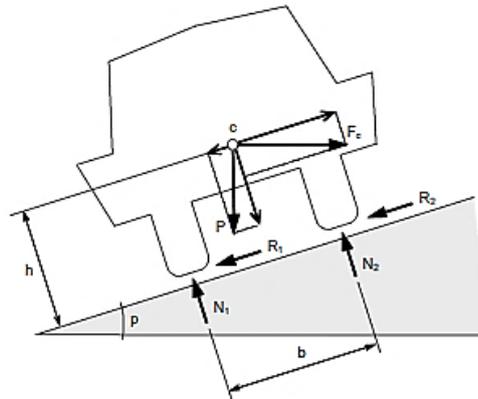
### 2.2.3.2. Interacción entre ruedas y pavimento en curvas

Al trazar el vehículo una curva, aparece una fuerza centrífuga que tiende a desplazarlo hacia el exterior de la curva. Para contrarrestar esta fuerza, aparece una nueva fuerza de rozamiento entre pavimento y neumático proporcional a un coeficiente de rozamiento estático semejante al ya visto en el caso de una frenada. En esta ocasión, la fuerza de rozamiento es perpendicular a la trayectoria del vehículo.

Las fuerzas actuantes sobre el vehículo son las siguientes:

- **Peso del vehículo (P):** Fuerza vertical aplicada en el centro de masas del móvil (c), generada como consecuencia de la acción del campo gravitatorio terrestre. El peso ( $P=m \cdot g$ ) está en función de la gravedad (g) y de la masa del vehículo (m).
- **Fuerza centrífuga (Fc):** Es la fuerza provocada por la variación en la dirección del vehículo dentro de la curva circular. Es proporcional a la aceleración normal ( $a_n$ ), que depende de la velocidad a la que circula el vehículo (v) y del radio (r) de la curva. Su expresión es  $F_c = m \cdot a_n = m \cdot (v^2)/r$ .
- **Fuerza de rozamiento (R):** Es la fuerza pasiva producida por el contacto entre neumático y pavimento. Depende de la reacción normal a la superficie de contacto (N) y del coeficiente de resistencia al deslizamiento transversal (ft). Su expresión matemática es  $R = f_t \cdot N$ .

Figura 8: Diagrama de fuerzas actuantes sobre el vehículo en una curva.



Fuente: (Tomas Jover, y otros)

Para evaluar la estabilidad del vehículo, es necesario analizar la hipótesis de deslizamiento. En este caso, se estudia el movimiento del vehículo en el plano de rodadura, que coincide con la superficie del pavimento en contacto con el neumático. Planteando la ecuación de equilibrio de fuerzas en dicho plano:

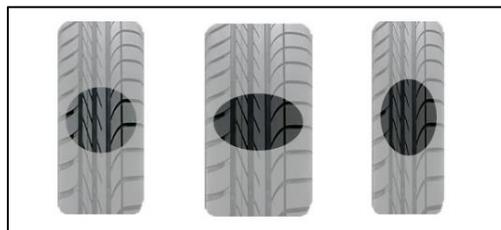
$$F_c \cdot \cos p = R_1 + R_2 + P \cdot \sin p \dots \dots (ec. 7)$$

### 2.2.3.3. Resultante de fuerzas

Tenemos entonces un vector que (por simplificar) apunta hacia adelante o hacia atrás y otro vector que apunta hacia derecha o izquierda y los dos se aplican en el mismo punto del centro de la huella del neumático.

Los tipos de huella en función del neumático.

Figura 9: Superficie de contacto del neumático.



Fuente: (Mozota Azcutia, 2014)

Independientemente de que sea un neumático delantero o trasero, y que el vehículo en cuestión sea de tracción delantera, propulsión o tracción total, en cada momento de la marcha se genera una fuerza o vector resultante que indica hacia dónde quiere ir la rueda en cada momento.

Si sumamos todas las fuerzas resultantes que un neumático es capaz de soportar antes de deslizar, aparece una especie de círculo más o menos alargado llamado “círculo de adherencia o de Kamm” y es una representación simplificada de lo que ocurre en una rueda. Esta “huella virtual” tiene mucho que ver con la forma de la huella real de la superficie de contacto de un neumático. (Mozota Azcutia, 2014)

Lo que pasamos a veces por alto es cómo y en qué forma tiene esa huella y de qué manera afecta al comportamiento de un neumático.

Todos sabemos que los deportivos en asfalto tienden a montar neumáticos anchos mientras que los que corren en tierra o nieve son más estrechos.

Esto se debe a que, a igualdad de peso y de superficie, la huella que posee un neumático ancho es efectivamente más ancha mientras que la de uno estrecho es más alargada. Una huella ancha genera un círculo de Kamm más ancho, o con más capacidad de acoger esfuerzos laterales, mientras que una estrecha genera otro que facilita aceleraciones y desaceleraciones mayores. Por eso hay una cierta relación entre el círculo de Kamm y la forma de la huella natural de un neumático.

De este modo, un neumático ancho es mejor en curvas y uno estrecho proporciona más tracción. (Mozota Azcutia, 2014)

- **Cómo funciona un neumático en curva.**

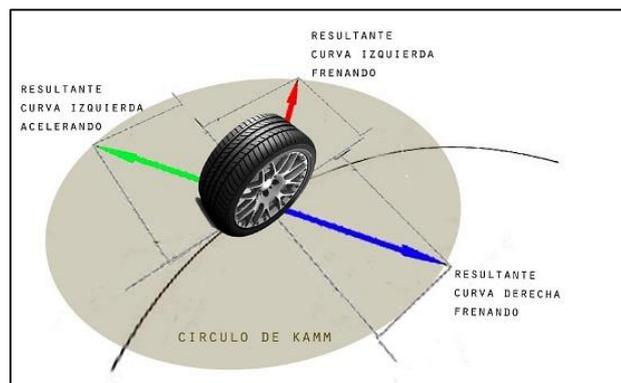
Cuando un coche está en plena curva, por transferencia de masas, el peso del coche se desplaza hacia las ruedas más cercanas al exterior de la curva, descargando las del interior. En ese momento, el neumático, sobre todo el exterior, que por el aumento de peso consigue generar más fricción, se deforma de varias maneras, en primer lugar, inclinando los flancos, después generando un ángulo de deriva y, a continuación, separando del asfalto la zona interior de la banda de rodadura. Al tener perfil bajo, la inclinación de los

flancos y el ángulo de deriva serán menores, y al tener una huella más ancha, el porcentaje de banda de rodadura que separe del firme por el giro de los flancos será menor manteniendo mayor capacidad de fricción. (Mozota Azcutia, 2014)

- **El Círculo de Kamm o Círculo de Adherencia**

El círculo de Kamm tiene una representación gráfica similar a un medidor de fuerzas G de un coche. El perímetro que se genera es la superposición de todas las resultantes de las fuerzas aplicadas a cada uno de los neumáticos o lo que es lo mismo la suma de todos los vectores de fuerza que se obtienen usando como punto de aplicación el centro de la huella del neumático.

**Figura 10: Círculo de adherencia.**

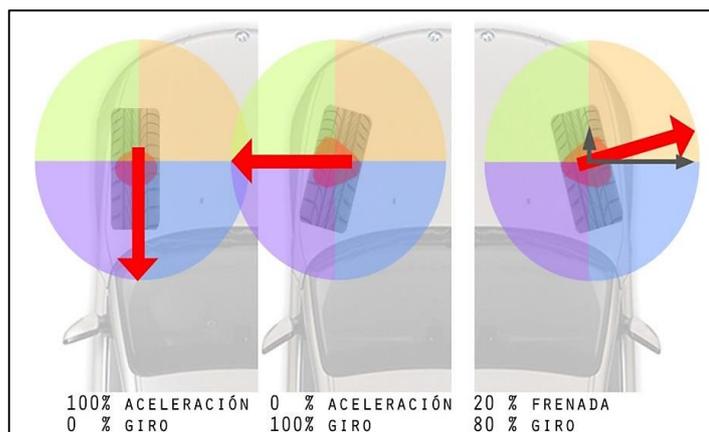


**Fuente: (Mozota Azcutia, 2014)**

Cada círculo de Kamm es único para cada rueda y en él se define la relación entre aceleración, frenada y giros máximos que puede asumir antes de deslizar.

Lo realmente interesante de esta representación gráfica teórica es que también nos enseña que un neumático que está acelerando al 100% no tiene capacidad de giro, o que otro que está usando toda su adherencia en girar no tiene capacidad de frenado. (Mozota Azcutia, 2014)

Figura 11: Porcentaje de aceleración versus ángulo de giro.



Fuente: (Mozota Azcutia, 2014)

## 2.2.4. ESTABILIZACIÓN DE PAVIMENTOS A NIVEL DE AFIRMADO

### 2.2.4.1. Suelos a nivel de afirmado

Es el suelo directo de la estructura del pavimento y forma parte del prisma de la carretera que se construye entre el terreno natural allanado o explanada y la estructura del pavimento.

Es necesario tener en cuenta la sensibilidad del suelo a la humedad, tanto en lo que tiene relación a la resistencia como a la variante de volumen. Los cambios de volumen en un suelo expansivo tienen la posibilidad de ocasionar graves perjuicios a las construcciones que se apoyan sobre éste; por esta razón, al crear un pavimento, hay que intentar totalmente vigilar las variantes volumétricas del mismo gracias a la humedad.

Los suelos por debajo del nivel superior de la subrasante, en una profundidad no menor de 0.60 m, deberán ser suelos óptimos y estables con  $CBR \geq 6\%$ . En caso el suelo, debajo del nivel superior de la subrasante, tenga un  $CBR < 6\%$  (subrasante pobre o subrasante inadecuada) tendrá que ser mejorado o estabilizado con diferentes adiciones. (MANUAL DE CARRETERAS, 2013)

#### **2.2.4.2. Estabilización de suelos**

La estabilización de los suelos radica en ofrecer seguridad al sustrato fijándolo y garantizando la permanencia de su compactación. Se transforma el suelo del que se dispone en material de creación de calidad fundamentalmente en parcelas de tierra, caminos y lagos artificiales. De esta forma, al normalizar el suelo, es viable conseguir el control sobre su erosión. (Álvarez, 2014 pág. 95)

Comúnmente, los tipos de suelos accesibles sin normalizar tienen el enorme inconveniente de ser muy sensibles a la degradación por la predominación del agua. El agua ablanda cualquier clase de suelo, demoliendo su seguridad mecánica y reduciendo su historia servible radicalmente. Además, si el sendero es muy transitado, la degradación se multiplicará de manera rápida. (Álvarez, 2014 pág. 95)

- **Estabilización mecánica**

Se usa para hacer mejor el suelo produciendo cambios físicos en el mismo. Existen varios procedimientos como son las mezclas de suelos que es una clase de estabilización de extenso uso, pero por sí sola no consigue producir los efectos deseados, necesitándose siempre de al menos la compactación como complemento. Por ejemplo, los pisos de grano abultado como las grava – arenas tienen una alta fricción interna que los hacen aguantar enormes esfuerzos, pero esta cualidad no provoca que sea permanente como para ser estable de una carretera, puesto que, al no tener cohesión sus partículas, se mueven libremente y con el paso de los transportes se tiene la posibilidad de dividir y también escaparse del sendero. (DE LA CRUZ GUTIERREZ, y otros, 2016 pág. 140)

- **Estabilización química**

Tiene relación primordial en la utilización de algunas sustancias químicas patentizadas y cuyo uso implica la suplencia de iones metálicos y cambios en la constitución de los suelos comprometidos en el desarrollo. (Álvarez, 2014)

- **Propiedades de interés del suelo a estabilizar**

- a. **Análisis granulométrico por tamizado.**

La norma técnica peruana NTP 339.128 o ASTM D-422 ajusta e indica la distribución de partículas de los suelos mediante tamices normados; para obtener esta distribución, es importante el clasificar los suelos mediante los sistemas S.U.C.S. o A.A.S.H.T.O.

- b. **Consistencia del suelo.**

- **Límite líquido:** Para definirlo, nos apoyamos en la NTP 339.129, la cual lo define como el contenido de humedad expresado en porcentaje, para el cual el suelo se halla en el límite entre los estados líquido y plástico.

- **Límite plástico:** Siguiendo los procedimientos de la NTP 339.129, donde se define al límite plástico como el contenido de humedad expresado en porcentaje, para el cual el suelo se halla en el límite entre los estados líquido y semisólido. Arbitrariamente, se designa como el contenido de humedad más bajo al cual el suelo puede ser rolado en hilos de 3,2 mm. (1/8") sin que se rompa en pedazos. Se realiza con una muestra pasante de la malla N°40. En base a esto, podemos determinar el índice de plasticidad que es la diferencia entre el límite líquido y límite plástico del suelo.

- **Límite de contracción:** Siguiendo los procedimientos de la NTP 339.140, que lo define como la humedad máxima de un suelo para la cual una reducción de la humedad no causa una variación del volumen del suelo, esto expresado en porcentaje. (Braja Das, 2008)

- c. **Clasificación de suelos**

- **Clasificación S.U.C.S.:** La naturaleza presenta una gran variedad de suelos, por lo que la mecánica de suelos ha desarrollado algunos métodos de

clasificación de los mismos, según el tamaño de sus partículas y plasticidad.

- **Clasificación A.A.S.H.T.O.:** El sistema de clasificación A.A.S.H.T.O., desarrollado en 1929 por la Administración de Carreteras de Estados Unidos, clasifica actualmente al suelo en siete grupos principales: los grupos A-1, A-2 y A-3 son suelos granulares, donde el 35% o menos de las partículas pasan a través de la malla N° 200 y para suelos donde más de 35% pasa a través de la malla N° 200 se clasifica en los grupos A-4, A-5, A-6 y A-7, que corresponden a suelos limosos y suelos arcillosos. (Braja Das, 2008)

**d. Proctor modificado**

La prueba de proctor estándar fue modificada debido al desarrollo de rodillos pesados y su uso en la compactación con el fin de representar mejor las condiciones de campo; esto hace referencia a la prueba proctor modificada (ASTM D-1557 y Norma AASHTO T 180). La prueba de proctor modificada se realiza de la misma forma que la estándar, con un molde de volumen y diámetro estandarizados; sin embargo, el compactado del suelo es en cinco capas por un pisón que transmite 25 golpes por capa.

**e. Ensayo de CBR**

Siguiendo los procedimientos de la norma NTP 339.145 o ASTM D-1883, que indica que el valor de la relación de soporte conocido como CBR (California Bearing Ratio) es un índice de resistencia del suelo, que se refiere a que el suelo se somete a la penetración de un vástago cilíndrico a una velocidad constante, cuyo resultado del índice CBR nos dice que es la capacidad de soporte del suelo comparado con la de una grava patrón. Por cada espécimen de suelo, se determinan dos valores de CBR, uno a 0.1 pulg. y a el otro a 0.2 pulg. de penetración.

- **Propiedades a mejorar con la estabilización**

1. **Resistencia mecánica**

Es la propiedad del suelo muy dependiente de la humedad y el grado de compactación que se le aplique; en general, la resistencia es baja en suelos finos húmedos, finos con alto porcentaje de materia orgánica y granular pobremente graduados. La evaluación de esta propiedad se puede hacer mediante ensayos como capacidad portante o CBR, resistencia al corte, compresión no confinada, entre otros. (Bañon, y otros, 2012)

2. **Cohesión**

Es la fuerza entre partículas del suelo producida por el agua de constitución del suelo, siempre y cuando no esté saturado. Esta propiedad es muy importante desde el punto de vista de la estabilidad de taludes, ya que aumenta la resistencia del suelo frente a los esfuerzos de corte. (Bañon, y otros, 2012)

#### **2.2.4.3. Principales aditivos para estabilizar un suelo**

Los agentes estabilizantes del suelo más utilizados hoy en día corresponden a la cal y el cemento Portland, así lo asegura Stavridakis (2006), en el capítulo 26 del libro “Expansive Soils: Recent Advances in Characterization and Treatment”, donde se hace una revisión de los estudios que se han hecho sobre la estabilización de suelos problemáticos, mediante cal y/o cemento Portland, enfocándose en los requisitos que debe cumplir el suelo para poder ser estabilizado efectivamente y de acuerdo a sus características y composición mineral, saber cuál es el estabilizador o combinación de estabilizadores más adecuados. Tanto el cemento Portland como la cal son capaces de proporcionar calcio al suelo, pero difieren en su modo de reaccionar en presencia de agua y en los efectos que generan sobre las propiedades del suelo.

(Jofre I., y otros, 2008) refiere que, para estabilizar un suelo, el conglomerante a utilizar será cemento para suelos poco plásticos,

mientras que para suelos finos y cohesivos es mejor utilizar cal, aunque a veces pueda convenir un tratamiento mixto, primero con cal para disminuir su plasticidad y luego con cemento para aumentar la capacidad de soporte o resistencias.

Por su parte (Bañon, y otros, 2012) señala que en zonas lluviosas o de elevado tráfico se pueden utilizar tratamientos de estabilización con cemento o cal si se desea aumentar su resistencia y evitar su deterioro e incluso se pueden utilizar productos bituminosos si se desea obtener una impermeabilización más efectiva.

- **Estabilización del suelo con cal**

La cal puede ser utilizada en el tratamiento de suelos en varios grados o cantidades según el objetivo. Una mínima cantidad de cal para el procedimiento se utiliza para secar y cambiar temporalmente los suelos. Tal tratamiento produce una armazón de trabajo para la construcción de caminos temporales. Un mayor grado de tratamiento – respaldado por las pruebas, diseño y las técnicas apropiadas de construcción – produce la estabilización estructural permanente del suelo. (DE LA CRUZ GUTIERREZ, y otros, 2016)

La cal sola o en conjunción con otros materiales puede ser usada para tratar una gama de tipos de pisos. Las características mineralógicas de los pisos determinarán su nivel de reactividad con la cal y la resistencia final que las capas estabilizadas desarrollarán. Generalmente, los pisos arcillosos de grano fino (con un mínimo del 25 por ciento que sucede el tamiz 200 -75µm- y un índice de elasticidad más grande que 10) se piensan buenos candidatos para la estabilización. Los pisos que tienen dentro proporciones importantes de material orgánico (mayor que 1 por ciento) o sulfatos (mayor que el 0.3 por ciento) tienen la posibilidad de necesitar cal agregada y/o métodos de creación destacables. (DE LA CRUZ GUTIERREZ, y otros, 2016)

Cuando poseemos arcillas muy plásticas, tenemos la posibilidad de bajar esa elasticidad y consecuentemente los cambios volumétricos de la misma asociados a la alteración en los contenidos de

humedad con el solo hecho de sumarle una pequeña proporción de cal. Este es un procedimiento barato para disminuir la elasticidad de los pisos y ofrecerle un incremento en la resistencia. Los porcentajes por añadir varían del 2 al 6% en relación al suelo seco del material para normalizar, con estos porcentajes se consigue normalizar la actividad de las arcillas obteniéndose un descenso en el índice plástico y un incremento en la resistencia. (Álvarez, 2014)

- **Estabilización con cemento**

En los suelos estabilizados con cemento el tipo de conglomerante tiene una importancia menor en comparación con las dosificaciones del mismo o la densidad alcanzada en la compactación. Es posible utilizar la gran mayoría de los cementos comercializados, porque dependerá de la disponibilidad y precio de los mismos. No obstante, algunas recomendaciones de tipo práctico pueden mejorar ciertos aspectos. (Instituto Español del Cemento y sus Aplicaciones, 2003), partículas inertes granulares con otras activas de distintos grados de elasticidad, la acción que en ellos produce el cemento es doble. Por una sección trabaja como conglomerante de las gravas, arenas y limos realizando el mismo papel que en el hormigón. Por otro lado, el hidrato de calcio, que se forma al contacto del cemento con el agua, libera iones de calcio que por su enorme afinidad con el agua hurtan algunas de las moléculas de ésta interpuestas entre cada dos laminillas de arcilla. El resultado de este desarrollo es la reducción de la porosidad y de la elasticidad de esta forma como un incremento en la resistencia y en la durabilidad. Se tiene la posibilidad de usar todos los tipos de cementos, pero generalmente se emplean los de fraguado y endurecimiento normales. En algunas ocasiones, para contrarrestar los efectos de la materia orgánica, son recomendables los cementos de alta resistencia y si las temperaturas son bajas, se puede recurrir a cementos de fraguado ágil o al cloruro de calcio como aditivo. (Instituto Español del Cemento y sus Aplicaciones, 2003)

Esta clase de estabilización es de uso cada vez más recurrente y radica frecuentemente en añadir cemento Portland en proporción

de un 7% a un 16% por volumen de mezcla. Al hacer un mejor material con cemento Portland, se piensa primordialmente en incrementar su resistencia, pero, además de esto, decrece la elasticidad. Es primordial para que se logren estos efectos que el material por hacer mejor tenga un porcentaje más alto de materia orgánica del 34%. (Instituto Español del Cemento y sus Aplicaciones, 2003)

- **Estabilización o mejoramiento con productos asfálticos.**

La estabilización de bloques con asfalto se fundamenta en el hecho de que la arcilla es el único componente del suelo que es inestable en presencia de humedad. El asfalto emulsificador que se usa como estabilizador de suelos consiste de glóbulos microscópicos de asfalto que están rodeados y suspendidos en medio acuoso. Se recomienda mantener el estabilizador a una temperatura superior a 0° centígrados.

El estabilizador hace contacto con la parte arcillosa del suelo y, a medida que se realiza la evaporación del agua, los glóbulos de asfalto forman una fina película que rodea a las partículas de arcilla, cuando está totalmente seca, la masa tratada con la emulsión de asfalto mantiene aproximadamente la misma firmeza y resistencia a la compresión que un suelo que ha sido mezclado solamente con agua. (DE LA CRUZ GUTIERREZ, y otros, 2016)

Pese a que un contacto con el agua puede producir cierta absorción, las partículas de arcilla no se expandirán.

El material asfáltico que se usa para hacer mejor un suelo puede ser el cemento asfáltico o bien las emulsiones asfálticas; el cemento asfáltico es el último residuo de la destilación del petróleo. Para eliminar los solventes volátiles y los aceites, deberá ser mezclado con material pétreo que se calienta a temperaturas que varían de 140 a 160° C; el más utilizado es el AC-20, producto que tiene la desventaja que resulta más caro y que no se mezcla con pétreos húmedos. (DE LA CRUZ GUTIERREZ, y otros, 2016)

Se tienen emulsiones de fraguado lento, medio y rápido, en concordancia al porcentaje de cemento asfáltico que se utiliza. Una emulsión asfáltica es una dispersión de asfalto en agua con apariencia de pequeñas partículas de diámetro de entre 3 y 9 micras. Este tipo de aglutinantes pueden utilizarse con cualquier clase de material aunque, por economía, se sugiere que se emplee en pisos gruesos o en materiales triturados que no muestren un prominente índice de elasticidad; se utiliza además con las arcillas, pero solo da impermeabilidad, resultando un procedimiento muy caro, además con otros productos se consigue mayor eficacia y menor valor para los pisos plásticos. (DE LA CRUZ GUTIERREZ, y otros, 2016)

El estabilizado de caminos es una técnica constructiva de bajo valor y con condiciones óptimas de servicio para hacer mejor la red vial en caminos y calles no pavimentadas y con ello una importante optimización en la calidad de vida de los pobladores de la región tanto en factores sociales como económicos. (Arriaga Vazquez, 2006)

La parte sustancial de su bajo valor es que se usa el suelo del lugar, no siendo requisito proveerse de suelos seleccionados (ahorro en transporte). La técnica de mejoramiento de suelos es viable debido a que el equipamiento se encuentra en la mayor parte de los municipios del país. Además, no se requiere personal especializado, con lo cual se transforma en una sustancial fuente de trabajo en la región de la obra. (Arriaga Vazquez, 2006)

- **Estabilización con Cloruro de Sodio.**

Con la adición de cloruro de sodio al agua, se puede abatir la temperatura de congelamiento. Las resoluciones que tiene dentro NaCl diluido muestran una mayor tensión superficial que en la situación del agua destilada y en 1% de sal aumenta la tensión superficial en 1 a 2 dina/cm, la adición de cloruro de sodio al agua abate la presión de vapor. (Jairon, 2010 pág. 56)

Los cambios en el agua debido a la adición de cloruro de sodio, tanto en el punto de congelación como en la tensión superficial y la

tensión de vapor, dependen de la solubilidad de la sal. El cloruro de sodio se adiciona al agua en pequeños porcentajes, se disuelve de manera rápida, pero mientras el porcentaje adicionado va siendo más alto, se disuelve con más contrariedad y se va a tener un cierto porcentaje más allá del cual el cloruro de sodio por el momento no se disuelve. (Jairon, 2010 pág. 57)

Existe en el área de las partículas arcillosas una doble cubierta de iones adsorbidos, en el cual la energía potencial que existe se disipa desde esa área hasta que en alguna distancia se tenga el mismo potencial que el líquido circundante. (Jairon, 2010 pág. 58)

- **Estabilización con Cloruro de Calcio.**

El cloruro de calcio se obtiene como un subproducto con apariencia de salmuera en algunos procesos industriales, aunque además se puede conseguir de algunos arroyos y pozos naturales siendo la fuente más habitual en la preparación de carbonato de sodio por medio de métodos químicos. (Jairon, 2010)

La solubilidad del cloruro de calcio es de 60 g por cada 100 c.c. de agua destilada a 0 °C; 159 g por cada 100 c.c. de agua destilada a 100 °C. Se demostró que, con la adición de cloruro de calcio, disminuyen las fuerzas de repulsión entre las arcillas, aun así la película de agua que circunda a las partículas se ve eléctricamente reforzada con la adición del cloruro de calcio, a tal nivel que aumenta claramente la cohesión aparente. (Jairon, 2010)

### **2.2.5. ESFUERZO Y RESISTENCIA AL CORTANTE**

Los suelos, como cualquier material bajo ciertas condiciones, se comportan como materiales elásticos, pero muchas veces tendrán deformaciones mayores de las normales, por lo que será un factor predominante el considerar la plasticidad del suelo.

El suelo puede presentar diversos tipos de fallas tales como: disgregamiento, deslizamiento en líneas de rotura o fluencia plástica.

La resistencia al esfuerzo cortante está representada por la ecuación de Coulomb.

$$\tau_{max} = C + \sigma n. tg(\emptyset) \dots \dots (ec. 8)$$

En la que:

$\tau_{max}$  : resistencia máxima al corte del suelo

c: cohesión del suelo

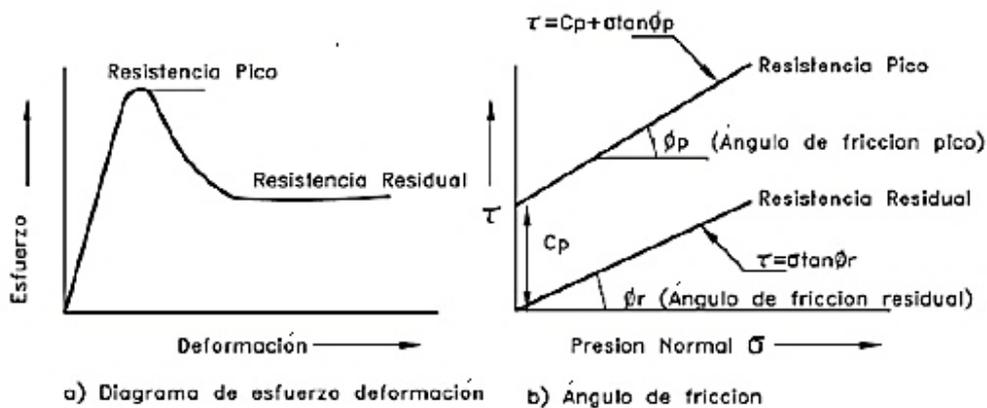
$\sigma n$  : esfuerzo normal intergranular

$\emptyset$  : angulo de fricción interna del suelo

- **Resistencia máxima o resistencia pico.**

Es la resistencia al corte máximo que posee el material que no ha sido fallado previamente, la cual corresponde al punto más alto de la curva esfuerzo – deformación. La utilización de la resistencia pico en el análisis de estabilidad asume que la resistencia pico se obtiene simultáneamente a lo largo de toda la superficie de falla. Sin embargo, algunos puntos en la superficie de falla han alcanzado deformaciones mayores, en un fenómeno de falla progresiva y al asumir que la resistencia pico actúa simultáneamente en toda la superficie de falla puede producir errores en el análisis.

Figura 12: Esfuerzo-deformación y presión cortante-presión normal.

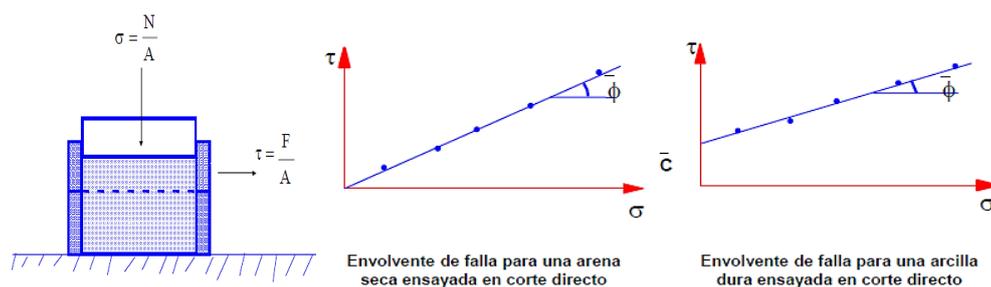


Fuente: (Braja Das, 2008)

- **Resistencia residual**

Es la resistencia al corte que posee el material después de haber ocurrido la falla.

Figura 13: Esfuerzo-deformación y presión cortante-presión normal.



Fuente: (Alva Hurtado, 2011)

### 2.3. MARCO CONCEPTUAL

- **Afirmado:** Capa compactada de material granular natural o procesado con gradación específica que soporta concisamente 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 carretera y trochas carrozables. (Ministerio de Transporte y Comunicaciones, 2013 pág. 7)
- **Agregado:** Material granular de composición mineralógica como arena, grava, escoria o roca triturada, usado para ser mezclado en diferentes tamaños. (Ministerio de Transporte y Comunicaciones, 2013 pág. 9)
- **Agregado fino:** Material que procede de la desintegración natural o artificial de partículas cuya granulometría es determinada por las especificaciones técnicas correspondientes. Por lo general, pasa la malla Nro. 4 (4.75 mm). (Ministerio de Transporte y Comunicaciones, 2013 pág. 9)
- **Análisis granulométrico o mecánico:** Procedimiento para determinar la granulometría de un material o la determinación cuantitativa de la distribución de tamaños según las mallas colocadas. (Ministerio de Transporte y Comunicaciones, 2013 pág. 11)
- **Base:** Capa de material selecto y procesado que se coloca entre la parte superior de una sub-base de la subrasante y la capa de rodadura. Esta capa puede ser también de mezcla asfáltica o con tratamiento según diseños. La base es parte de la estructura de un pavimento. (Ministerio de Transporte y Comunicaciones, 2013 pág. 13)

- **Capacidad de carga del terreno:** Es la presión requerida para producir la falla del terreno, sin considerar factores de seguridad. (Ministerio de Transporte y Comunicaciones, 2013 pág. 13)
- **Compactación:** Proceso manual o mecánico que tiende a reducir el volumen total de vacíos de suelos, mezclas bituminosas, mortero y concreto fresco de cemento Portland. (Ministerio de Transporte y Comunicaciones, 2013 pág. 15)
- **Corte (directo):** Ensayo según el cual un suelo sometido a una carga normal falla al moverse una sección con respecto a otra. (Ministerio de Transporte y Comunicaciones, 2013 pág. 20)
- **Curva granulométrica:** Representación gráfica de la granulometría y proporciona una visión objetiva de la distribución de tamaños del agregado. Se obtiene llevando en abscisas los logaritmos de las aberturas de los tamices y en las órdenes y porcentajes que pasan o sus complementos a 100, que son los retenidos acumulados. (Ministerio de Transporte y Comunicaciones, 2013 pág. 23)
- **Durabilidad:** Propiedad de un material o mezcla para resistir desintegración por efectos mecánicos, ambientales o de tráfico. (Ministerio de Transporte y Comunicaciones, 2013 pág. 24)
- **Estabilidad:** Propiedad de una mezcla asfáltica de pavimentación de resistir deformación bajo las cargas impuestas. La estabilidad es una función de la cohesión y la fricción interna del material. (Ministerio de Transporte y Comunicaciones, 2013 pág. 27)
- **Cizallamiento:** Deformación lateral producida por una fuerza externa en la que dos planos paralelos se deslizan relativamente de manera tal que permanezcan paralelos a su plano de contacto. También llamado corte o cortadura. (Construmática.com metaportal de arquitectura, ingeniería y construcción)

## **CAPÍTULO III**

### **METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN**

#### **3.1. METODOLOGÍA Y RECOLECCIÓN DE DATOS**

##### **3.1.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN**

(Hernandez Sampieri, y otros, 2010), menciona que el tipo de investigación aplicada tiene la finalidad de resolver problemas en la práctica, la cual busca describir o validar técnicas, instrumentos o materiales que optimicen los procesos aplicando los resultados obtenidos. Según esta justificación teórica, la presente investigación es del tipo aplicada, porque se evaluó de manera práctica la estabilización del afirmado en los sectores críticos del tramo Chupuro – Chancaccasa en Huancayo, mediante ensayos de laboratorio para contrarrestar las fuerzas de cizallamiento unidireccional producidas por los vehículos.

##### **3.1.2. NIVEL DE INVESTIGACIÓN**

(Hernandez Sampieri, y otros, 2010), refiere que el nivel de investigación viene dado por el alcance y grado de profundidad que se pretende con la investigación y tiene como finalidad conocer la relación o grado de asociación que existe entre dos o más variables en un contexto en particular. Según esta justificación teórica y conociendo el comportamiento de las variables, se define el nivel de investigación del tipo correlacional para conocer el grado de relación que existe entre el cizallamiento unidireccional y el tratamiento de afirmados.

### **3.1.3. DISEÑO DE INVESTIGACIÓN**

(Ccanto Mallma, 2010), menciona que el diseño cuasiexperimental manipula al menos una variable independiente para observar su efecto sobre una o más variables dependientes y los grupos ya están formados antes del experimento. Según este sustento teórico, el diseño de investigación es cuasiexperimental, debido a que se manipula deliberadamente la variable independiente, que es el tratamiento de afirmados, el cual es la dosificación de diferentes tipos de estabilizadores como la cal y cemento, para analizar las consecuencias que se generan en la variable dependiente, la cual es el esfuerzo de corte o cizallamiento que se producirá.

### **3.1.4. MÉTODO DE INVESTIGACIÓN**

(Gonzales Castro, y otros, 2011), definen que el método científico consiste en etapas del procedimiento y técnicas que se usan para resolver y formular problemas de investigación mediante la prueba de hipótesis. En base a la precisión mencionada, el método es científico de enfoque cuantitativo, debido a que está orientado a medir las variables y además porque utiliza datos cuantitativos estructurados en cifras para recopilar información concreta en la elaboración de briquetas para un proceso de ensayos que definan el comportamiento mecánico del suelo estabilizado al esfuerzo de corte o cizallamiento con diferentes dosis de aditivos.

### **3.1.5. POBLACIÓN Y MUESTRA**

#### **3.1.5.1. Población**

(Borja S., 2012), define a la población como el conjunto de elementos o sujetos que serán motivo de estudio. Bajo esta definición, la población son todos los tipos de estabilizaciones del suelo a nivel de afirmado con adiciones que puedan emplearse en la carretera Chupuro – Chancaccasa en Huancayo.

### 3.1.5.2. Muestra

(Borja S., 2012), define a la muestra como la unidad del objeto de estudio procedente de una población. En base a esta definición, la muestra en estudio son los dos tipos de afirmado para obtener el efecto a los esfuerzos de cizallamiento, para lo cual se elegirán los sectores críticos donde ocurren los mayores esfuerzos de cizallamiento.

El muestreo es no probabilístico e intencional, ya que la elección de los elementos de la muestra no depende de la probabilidad, sino sigue el criterio de selección dado por el conocimiento del investigador procurando que la muestra obtenida sea lo más representativa posible.

**Tabla 1: Cantidad de ensayos a realizar.**

<b>CANTIDAD DE ENSAYOS DEL AFIRMADO SIN ADICIÓN</b>		
<b>ENSAYOS</b>	<b>CALICATAS</b>	
	<b>C-01</b>	<b>C-02</b>
<b>CANTIDAD DE ENSAYOS – PROPIEDADES FÍSICAS</b>		
Contenido de Humedad	1	1
Análisis Granulométrico por Tamizado	1	1
Límite Líquido	1	1
Límite Plástico	1	1
<b>CANTIDAD DE ENSAYOS – PROPIEDADES MECÁNICAS</b>		
Corte Directo	1	1
Proctor Modificado	1	1
Relación de Soporte (CBR)	1	1
<b>CANTIDAD DE ENSAYOS</b>	<b>14</b>	
<b>CANTIDAD DE ENSAYOS DEL AFIRMADO CON ADICIÓN</b>		
<b>CORTE DIRECTO</b>	<b>Dosificación de CAL</b>	<b>Dosificación de CEMENTO</b>
2 Kg , 4 kg , 8 kg	0.5%	0.5%
2 Kg , 4 kg , 8 kg	1.0%	1.0%
2 Kg , 4 kg , 8 kg	1.5%	1.5%
2 Kg , 4 kg , 8 kg	2.0%	2.0%
2 Kg , 4 kg , 8 kg	2.5%	2.5%
2 Kg , 4 kg , 8 kg	3.0%	3.0%
<b>CANTIDAD DE ENSAYOS POR ADICIÓN</b>	<b>6</b>	<b>6</b>
<b>ENSAYOS TOTALES</b>	<b>12</b>	

**Fuente: Elaboración propia.**

La cantidad de ensayos realizados fueron de 26 ensayos de laboratorio. La cantidad de material que se necesitó para realizar los ensayos mencionados se calculó de acuerdo a lo requerido en las normas técnicas.

### **3.1.6. TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE DATOS**

(Ccanto Mallma, 2010), menciona que las técnicas de recolección de datos son los medios por los cuales el investigador recoge la información requerida de una realidad en función a los objetos de estudio. Para la presente investigación, la técnica de recolección de datos fue la observación sistemática, ya que los resultados y la recopilación de información de datos se obtuvieron y registraron mientras se desarrollaron los ensayos en laboratorio y además la recolección directa de la información.

- La observación directa se utiliza para determinar las fallas y desgaste del afirmado debido al esfuerzo de cizallamiento originadas por las fuerzas de fricción producto del cambio de dirección y reducción de velocidad vehicular en la carretera Chupuro – Chancaccasa de Huancayo, estas ocurridas en las zonas críticas como curvas con radios menores al mínimo y en pendientes mayores a 5%.
- Se tomaron los datos de los diferentes ensayos realizados en laboratorio, de acuerdo al material de afirmado de la carretera (con el cual podemos dar una solución alternativa mediante el uso de los ensayos de corte directo para estabilizar el afirmado y contrarrestar los esfuerzos de cizallamiento).

### **3.1.7. INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS**

Los instrumentos de recolección de datos y medición empleados en esta investigación son los siguientes:

- Equipo de corte directo (corte directo)
- Equipo de Proctor (moldes de compactación)
- Equipo de CBR (molde de compactación y prensa de penetración)
- Tamices estandarizados (mallas granulométricas)
- Horno eléctrico (contenido de humedad)
- Copa de Casagrande (límites de consistencia)

### **3.1.8. TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE DATOS**

Las técnicas de análisis de datos nos ayudaron a organizar e interpretar los datos recogidos con los instrumentos de investigación. La primera técnica para el análisis de los datos e interpretar los resultados fue el método numérico – gráfico, la organización de los datos se representaron en una matriz de tabulación en el programa Ms Excel. La descripción y análisis de los datos se hicieron mediante las técnicas de análisis cuantitativo que nos sirvió para mostrar la estabilización del afirmado debido a los esfuerzos de cizallamiento o de corte, producidos por el tránsito vehicular, y ver la mejor adición con su dosis óptima.

### **3.2. PROCEDIMIENTO METODOLÓGICO DE LA INVESTIGACIÓN**

Para el desarrollo de la investigación, se realizaron las siguientes actividades:

1. Sistematización de información previa para conocer la bibliografía de consulta y referencia que aportan a la presente investigación.
2. Conocimiento, caracterización y ubicación de carretera Chupuro – Chancaccasa en Huancayo.
3. Definición y estructura de la tesis integrando las dimensiones, componentes, fenómenos e indicadores requeridos para el desarrollo de la investigación.
4. Evaluación, caracterización y selección del material e indicadores a través del trabajo de campo (extracción de muestras de material de suelo).
5. Análisis de ensayos de laboratorio para determinar las propiedades de resistencia al cizallamiento unidireccional del afirmado, capacidad de soporte del material para determinar la adición óptima de cal y cemento.

Los ensayos en laboratorio, dentro del desarrollo de la presente tesis, se realizaron en centros certificados ICCSAH S.A.C., además las actividades fueron desarrolladas durante este proceso con la participación de expertos.



Figura 15: Eje de la carretera Chupuro – Chancaccasa.



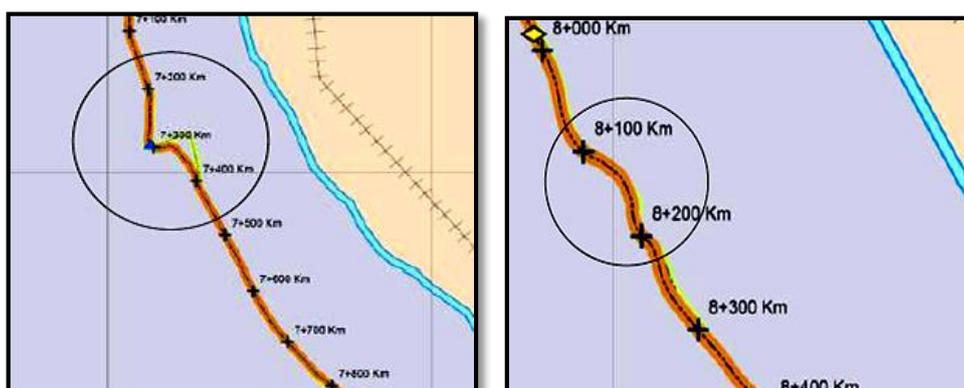
Fuente: Instituto Vial Provincial – Huancayo.

### 3.2.2. TRABAJOS DE CAMPO

#### 3.2.2.1. Identificación de los sectores críticos expuestos a cizallamiento unidireccional

Se registraron los sectores críticos donde se encontraron los problemas de desgaste del afirmado en curvas con radios menores a 20 m y tramos con pendientes mayores al 5 %, de las cuales se muestran algunos tramos.

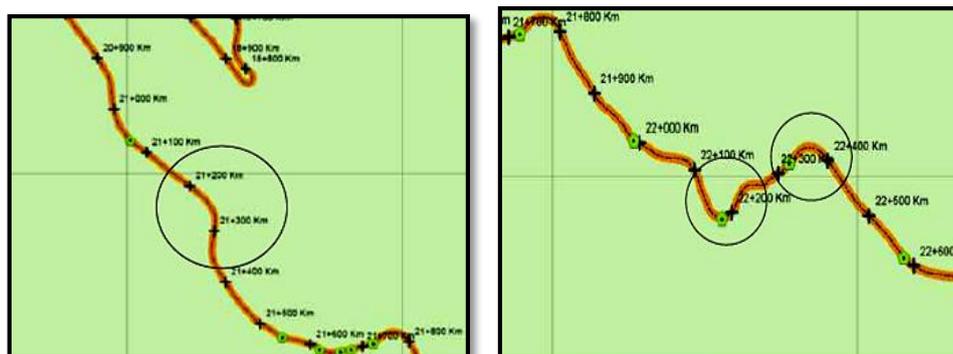
Figura 16: Sectores críticos, curvas y pendientes considerables 7+320km, 8+810km.



Fuente: Instituto Vial Provincial – Huancayo.



**Figura 20: Sectores críticos, curvas y pendientes considerables 21+300, 22+450km.**



**Fuente: Instituto Vial Provincial – Huancayo.**

Además, se registraron los desgastes debido a estos esfuerzos de cizallamiento estos sectores críticos como los tramos de las curvas con radio menores a 20m son aproximadamente 3.60 km (15%) y los tramos con pendiente mayores al 5% son aproximadamente 4.08 km (17%) del tramo total de la carretera Chupuro – Chancaccasa, la cual tiene una longitud aproximada de 24.02 km de carretera afirmada.

Como se puede notar, los sectores críticos corresponden a un total de 7.7 km que son sectores donde ocurren estos tipos de fallas y que como se nota la longitud no es mínima, entonces se debe hacer estas estabilizaciones para mejorar esta problemática.

**Figura 21: Km: 1+900, 5+340, ahuellamientos.**



**Fuente: Elaboración propia.**

**Figura 22: Km: 6+520, 7+320, ahuellamientos.**



**Fuente: Elaboración propia.**

**Figura 23: Km: 8+200, 8+820 ahuellamientos.**



**Fuente: Elaboración propia.**

**Figura 24: Km: 12+600, 19+100, ahuellamientos.**



**Fuente: Elaboración propia.**

**Figura 25: Km: 16+100, 17+000, ahuellamientos.**



Fuente: Elaboración propia.

### **3.2.2.2. Identificación de los puntos de muestreo**

Se identifican los sectores que se dañan con más facilidad en el afirmado y se procedió a tomar las muestras, se ubicaron 2 puntos de estudio para la extracción de la muestra de afirmado, con una profundidad de 15 a 20 cm, con la finalidad de establecer las propiedades del afirmado en el laboratorio, además se extrajo una cantidad considerable de material de afirmado de las canteras Carhuapaccha (km 04+460), de la cantera Socos (km 08+440) y de la cantera Socos (km 10+740).

Los puntos de muestreo están ubicados en las curvas con radios menores al mínimo y en los tramos de pendientes mayores al 5%.

**Figura 26: Ejecución de la calicata C-1 de la carretera Chupuro – Chancaccasa..**



Fuente: Elaboración propia.

Figura 27: Ejecución de la calicata C-2 de la carretera Chupuro – Chancaccasa.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 28: Toma de muestras de las canteras Carhuapaccha (km 04+460), y de la cantera Socos (km 08+440).



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 2: Descripción de las canteras/calicatas de muestra extraídas.

PROGRESIVA (Km)	CALICATA - CANTERA	PROFUNDIDAD (m)	LADO
23+500 – 04+460	C-1 – Carhuapaccha	0.15 – 0.20	Derecho
23+750 - 08+440	C-2 – Socos	0.15 – 0.20	Derecho

Fuente: Elaboración propia.

### 3.2.3. CARACTERIZACIÓN INICIAL DEL MATERIAL DE SUELO SIN ADICIÓN

Con la finalidad de determinar las propiedades físicas y mecánicas de las muestras, se realizaron los ensayos de laboratorio con el propósito de establecer las propiedades del afirmado sin ninguna adición en el laboratorio. Para determinar estas propiedades, se realizó según los procedimientos establecidos en las normas técnicas mostradas a continuación:

**Tabla 3: Normas Técnicas de ensayos de suelos en laboratorio.**

ENSAYOS	Norma NTP	Norma MTC	Norma ASTM
<b>PROPIEDADES FÍSICAS</b>			
Contenido de Humedad del suelo	NTP 339.127	MTC E 108	ASTM D 2216
Análisis Granulométrico por Tamizado	NTP 339.128	MTC E 107	ASTM D 422
Límite líquido de los suelos	NTP 339.129	MTC E 110	ASTM D 4318
Límite plástico de los suelos e índice de plasticidad	NTP 339.129	MTC E 111	ASTM D 4318
Clasificación de los suelos métodos SUCS	NTP 339.134		
Clasificación de los suelos métodos AASHTO	NTP 339.135		
<b>PROPIEDADES MECÁNICAS</b>			
Ensayo de Corte Directo	NTP 339.171	MTC E 123	ASTM D 3080
Ensayo de Proctor Modificado	NTP 339.141	MTC E 115	ASTM D 1557
Ensayo de CBR (Relación de Soporte)	NTP 339.145	MTC E 132	ASTM D 1883

Fuente: Elaboración propia.

#### 3.2.3.1. Contenido de humedad natural (MTC E-108)

La finalidad de este ensayo es determinar el contenido de humedad que presenta una cantidad de suelo en términos de su peso seco.

Procedimiento:

- Previamente, se tomaron muestras de material, transportados dentro de bolsas de plástico.
- Se pesa la muestra húmeda representativa ( $W$  húmedo).
- Se deja secar en el horno a  $105^{\circ}\text{C}$  durante 24 horas.
- Se pesa la muestra seca ( $W$  seco).
- Se aplica la siguiente fórmula.

$$w(\%) = \frac{W_{humedo} - W_{seco}}{W_{seco}} \times 100 \dots \dots (Ec. 10)$$

Figura 29: Pesado de las muestras y secado en el horno.



Fuente: Elaboración propia.

### 3.2.3.2. Análisis granulométrico por tamizado (MTC E-107)

El propósito de este ensayo es la determinación de la distribución de los tamaños de las partículas del suelo, mediante el empleo de tamices estandarizados desde 3" (76.200 mm) hasta la N°200 (0.074 mm). Para ello, la masa de suelo a ensayar dependió del tamaño máximo de las partículas.

Tabla 4: Masa mínima de la porción de suelo según el tamaño máximo.

Diámetro Nominal de Partículas más grandes pulg. (mm)	Porción Aproximada de Masa Mínima (gr)
3/8" (9.5)	500
3/4" (19.0)	1000
1" (25.4)	2000
1 1/2" (38.1)	3000
2" (50.8)	4000
3" (76.2)	5000

Fuente: NTP 339.128.

Procedimiento:

- Previamente, se homogeniza mediante el cuarteo de la muestra natural.
- Cuando la muestra encontrada es arcillosa y arenas con limos, estos se tratarán por la vía húmeda, ya que presentan terrones, por lo que se cubre con agua para que se ablanden las partículas.
- La muestra se procede a lavar con el tamiz N° 200, teniendo cuidado de que las partículas finas no se pierdan. La muestra lavada se coloca en el horno para su secado.
- La muestra seca se tamiza por las mallas desde la 3" hasta la N° 200, obteniendo los pesos retenidos en cada una de estas.

Figura 30: Pesado del material y el proceso de tamizado.



Fuente: Elaboración propia.

### **3.2.3.3. Límite Líquido (MTC E-110)**

El límite líquido se determina mediante la Copa de Casagrande y se define como el contenido de agua con el cual se cierra una ranura de 12.7 mm (1/2 in), mediante 25 golpes.

Procedimiento: Determinación del límite líquido por el método de multipunto:

- Primero se ajusta y verifica la Copa de Casagrande.
- La muestra a usar es la pasante del tamiz N° 40 que se mezclará con 15 – 20 ml de agua, amasándola con la espátula. Los incrementos de agua serán de 1 – 3 ml.
- Se coloca una parte de la mezcla en la Copa de Casagrande, verificando que esté nivelado y emparejado a una altura de 1 cm en el punto de profundidad máxima.
- Se divide la mezcla a través del centro de la cuchara de la Copa de Casagrande.
- Se procede a girar la manija a una velocidad de 2 golpes por segundo; el ensayo terminará cuando las dos mitades de la mezcla se junten en el fondo de la ranura a lo largo de 1.3 cm aproximadamente, y se anotará el número de golpes realizados.
- Cuando el suelo tiende a deslizarse en el momento de los golpes de la copa de Casagrande, se debe agregar más agua y volver a mezclar; si a pesar de esto se sigue deslizando con un número de golpes menor a 25, entonces el suelo no presenta límite líquido.
- Se procede a tomar una parte de suelo del ancho de la espátula para colocarlas en un recipiente y determinar el contenido de humedad.
- Se repite el procedimiento para cada mezcla de suelo ensayada.
- Los golpes para cerrar la ranura del suelo se deben encontrar entre los intervalos de 25 – 35, 20 – 30, 15 – 25 con el propósito de tener muestras con consistencia cercana a las requeridas.

**Figura 31: Realizando el ensayo de límite líquido y secado para pesar.**



Fuente: Elaboración propia.

#### **3.2.3.4. Límite Plástico (MTC E-111)**

El límite plástico consiste en determinar la humedad más baja con la que se forman cilindros de suelo de unos 3mm de diámetro, sin que estos se desmoronen, es decir, el punto límite entre el estado plástico y semisólido.

Procedimiento:

- Con la mezcla de suelo del ensayo de límite líquido, se moldea en forma de elipsoides con los dedos sobre la superficie lisa de vidrio hasta conseguir formar cilindros.
- Si antes de llegar a 3.2 mm de diámetro de los cilindros no se ha desmoronado o se formó grietas a su alrededor, se vuelve a realizar el proceso cuantas veces sea necesario hasta que se logre el agrietamiento o desmoronamiento con dicho diámetro aproximadamente.
- El cilindro debe tener aproximadamente 3 mm de diámetro cuando empiece a desmoronarse o agrietarse.
- Se debe tener aproximadamente entre 6 a 8 gramos de porciones agrietadas para proceder a determinar el contenido de humedad.
- Para determinar el índice de plasticidad del suelo, se realiza mediante la diferencia del límite líquido y límite plástico.

**Figura 32: Realizando el ensayo de límite plástico, formado de cilindros para secar en el horno.**



Fuente: Elaboración propia.

### **3.2.3.5. Ensayo de Corte Directo (MTC E-123)**

Este ensayo reside en hacer deslizar una fracción de suelo respecto a otra o a lo largo de un plano de falla predeterminado mediante la acción de una fuerza de corte horizontal incrementada mientras se aplica una carga normal al plano del movimiento.

La finalidad de este ensayo es determinar la resistencia al corte y además determinar la cohesión y el ángulo de fricción interna de una muestra de suelo, sometida a fatigas, esfuerzos y deformaciones que simulen en la carretera que producto del cambio de velocidades en las curvas y las pendientes en función de los pesos y esfuerzos que realiza el vehículo.

Este ensayo se realizará de acuerdo a lo especificado en la norma MTC E 123, el cual es el ensayo de Corte Directo (Consolidado Drenado).

Procedimiento:

- Tomar una muestra representativa del material necesario para poder hacer mínimo tres ensayos; en este caso, utilizaremos 1kg, luego se procederá a tamizar a través del tamiz N°4 de 4.75mm.
- Se procede a acondicionar esta muestra a su humedad óptima, para luego compactar en un molde cuadrado de volumen y peso conocidos a una densidad de la MDS. El proceso de compactado

se realiza a condiciones del OCH para todas las muestras con las diferentes dosificaciones de los estabilizadores.

- Utilizando una espátula, procedemos a distribuir idénticamente el material a través del molde para luego apisonar mediante capas hasta lograr la densidad seca.
- El espesor mínimo de la muestra de ensayos debe ser alrededor de 12 mm (1/2”), pero no menor de un sexto del tamaño máximo de las partículas del suelo.
- Se debe permitir una consolidación de 30 minutos para cada ensayo utilizando tres ensayos para cada uno, aplicando diferentes cargas de 2, 4 y 8 kg como cargas normales.
- Se introduce la muestra de ensayo con mucho cuidado, se conecta el dispositivo de carga y se ajusta el dial para medir tanto la deformación durante el corte como el cambio del espesor inicial.
- Durante el proceso de la consolidación debemos registrar la deformación normal en tiempos apropiados antes de aplicar un nuevo incremento de la fuerza.
- Cada incremento de la fuerza normal debe durar hasta que se complete la consolidación primaria. El incremento final debe completar la fuerza normal especificada.

**Figura 33: Ensayo de corte directo y muestras ensayadas.**

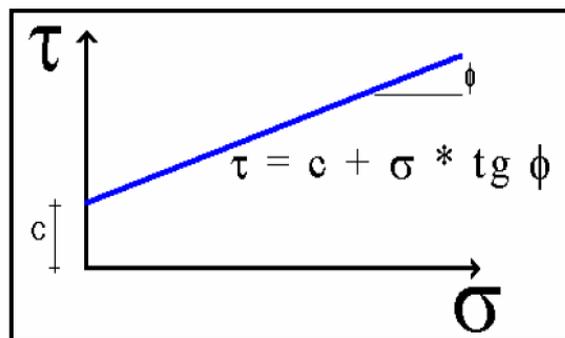


**Fuente: Elaboración propia.**

Expresión de resultados:

- Obtener el esfuerzo normal para cada prueba, el cual corresponde a la fuerza normal aprovechada sobre la caja de muestra dividido en su área.
- Obtener el esfuerzo de corte de cada punto donde se tomó lectura, para lo cual será necesario dividir la fuerza cortante en el área corregida.
- Hacer un gráfico de tensión cortante versus deformación de todos los puntos para cada prueba y determinar el esfuerzo cortante máximo para cada ensayo.
- Una vez que se tiene el esfuerzo cortante máximo y el esfuerzo normal de cada ensayo se plasma estos tres puntos en un gráfico de esfuerzo de corte ( $\tau$ ) versus esfuerzo normal ( $\sigma_n$ ), para luego trazar una recta que se aproxime lo más posible a estos 3 puntos, lo cual dará origen a una recta que debe satisfacer la ecuación de Coulomb. Según esta ecuación la resistencia al corte depende de la cohesión ( $c$ ) y la fricción interna del suelo ( $\phi$ ).

Figura 34: Gráfico de la forma de los resultados del ensayo de corte directo.



Fuente: (Braja Das, 2008).

### 3.2.3.6. Ensayo de compactación Proctor Modificado (MTC E-115)

Este método se utiliza para determinar la relación entre la humedad y la densidad compactada seca de los suelos mediante un procedimiento

normado que consiste en compactar el suelo con un pisón para poder compactar en un molde de 4 o 6 pulgadas (101,6 o 152,4mm) de diámetro con un pisón de 10 lbf (44.5n) que cae de una altura de 18 pulgadas (457 mm) produciendo una energía de compactación de 56 000 lb-pie/pie<sup>3</sup> (2700 Kn – m/m<sup>3</sup>).

Este ensayo se realizará según lo dispuesto en la norma MTC E 115, determinando la relación entre el contenido de agua y peso unitario seco de los suelos (curva de compactación).

Procedimiento:

- Previamente, se tiene que secar la muestra al aire libre o al horno sólo si este estuviera húmedo.
- También se tiene que determinar el método de prueba que corresponda esto a través del tamizado con las mallas 3/4", 3/8" y N°4.
- Se prepara 4 o 5 muestras de aproximadamente 6 kg para el método C. Para el método A o B se prepara 3 kg. Para luego ser mezcladas con agua de manera que este homogenizado.
- Se procede a la etapa de compactación de las cinco capas, con un número de golpes por cada capa de acuerdo al método de prueba determinado (25 ó 56 golpes por cada).
- La compactación se tiene que realizar de manera homogénea en toda el área.
- Con la última capa compactada, se procede al enrasado con una regla metálica quitando previamente el collarín. Para determinar el peso del suelo más el molde previamente retirando la base.
- De la muestra compactada, ubicamos la parte central y se extrae una parte de suelo para determinar su contenido de humedad.
- Se repite el procedimiento para las otras muestras a ensayar con contenidos de humedad variables.
- Por último, determinamos la densidad seca de cada punto realizado y graficamos la humedad versus las densidades secas y mediante

esto obtenemos la máxima densidad seca y el óptimo contenido de humedad.

$$\gamma d = \frac{\gamma m}{1 + \frac{w}{100}} \dots \dots \dots (35)$$

Donde:

$\gamma d$  = densidad seca

$\gamma m$  = densidad húmeda = peso suelo húmedo /volumen

w = contenido de humedad

### **3.2.3.7. Ensayo de CBR (California Bearing Ratio)**

Se determinó el valor relativo de soporte CBR mediante la norma NTP 339.145 (ASTM D-1883), la cual menciona que se obtiene como un porcentaje del esfuerzo requerido para poder penetrar un pistón a una profundidad de 0.1 pulgadas en la muestra de suelo y el esfuerzo requerido para hacer penetrar 0.1 pulgadas el mismo pistón, pero en una muestra patrón de piedra triturada.

El valor del CBR generalmente se determina para 0.1 y 0.2 pulgadas de penetración, lo cual el esfuerzo requerido para la muestra patrón es 1000 y 1500 lb/plg<sup>2</sup> respectivamente.

El ensayo de CBR comprende los 3 ensayos siguientes:

Determinación de la densidad y humedad.

Determinación de las propiedades expansivas del material.

Determinación de la resistencia a la penetración.

- **Preparación del material**

- Con la muestra secada al aire o calentada a 60 °C, se procede a desmenuzar los terrones con el cuidado de no romper las partículas individuales del suelo.
- La muestra se tamiza por la malla 3/4" y la N° 4 para luego descartar la retenida en la 3/4" y reemplazarla en igual

proporción con muestra de suelo retenida entre los tamices 3/4" y la N°4 luego homogenizar mediante el mezclado.

- También se determina el contenido de humedad de la muestra preparada.
- La cantidad de material que se necesitará es de 5kg para cada espécimen en el proceso de compactación.

- **Determinación de la densidad y humedad**

- Previamente, se alistan los moldes cilíndricos, el disco espaciador y el papel filtro grueso.
- Se mezclan las muestras con el óptimo contenido de humedad encontrada homogenizándolo con la espátula.
- Se procede al proceso de compactación para esto se divide la muestra en 5 partes de igual volumen. Se compactan las 5 capas con 10, 25 y 56 golpes por capa.
- Terminado la última capa, se quita el collarín y se enrasa la muestra, luego se retira la base, el disco espaciador y se voltea el molde, esto para determinar su peso.
- Determinado el peso de la muestra compactada, se calcula la densidad y la humedad.

- **Determinación de la expansión del material**

- Se voltea el molde, se coloca sobre la base perforada y se cubre con el papel filtro sobre la muestra enrasada.
- Se coloca el papel filtro, se procede a colocar el plato y las pesas con el vástago graduable, la sobrecarga mínima será de 10 lb.
- Luego se procede a sumergirlo en un depósito lleno de agua.
- Para las lecturas de la expansión, se colocará el trípode con el dial y se lectura el inicial, cada 24 horas se toma las lecturas correspondientes.
- Terminada las 96 horas o podría ser antes si el suelo es arenoso, se toma la lectura final, con estos datos se

determina el porcentaje de hinchamiento del material, que viene a ser la diferencia de la lectura final menos la inicial, dividido entre la altura inicial de la muestra multiplicado por 100.

$$\text{Expansion (\%)} = \frac{\text{Expansión}}{\text{Altura de la muestra}} \times 100$$

- **Determinación de la resistencia a la penetración**

- Si no es necesario sumergir la muestra en agua, se procede a colocar las pesas y se continuará con el ítem 3 y 4.
- Si la muestra fue sumergida en agua para determinar su expansión, se procede a drenar el agua, para realizar el ensayo de penetración, considerando las pesas que tenía en la etapa de hinchamiento.
- Teniendo el molde con la muestra y las pesas de sobrecarga, se instala la prensa, colocando el pistón sobre el centro de la muestra.
- Se regulan y se colocan en cero los diales de medición para medir la penetración.
- Se procede a aplicar la carga en incrementos de 0.025 pulgadas a la velocidad de 0.05 pulgadas/minuto y se procede a leer las cargas totales hasta que el pistón penetre 0.50 pulgadas.
- Teniendo el último hincado del pistón de 0.50 pulgadas, se deja de aplicar la carga para retirar el molde de la prensa.
- Por último, se determina el contenido de humedad de la muestra final.

### 3.2.4. SELECCIÓN DE ESTABILIZADORES PARA MEJORAR LA RESISTENCIA AL CIZALLAMIENTO UNIDIRECCIONAL

Los estabilizadores utilizados en el desarrollo del presente trabajo de investigación son los siguientes:

- Cal Hidratada
- Cemento Andino Tipo I

Tabla 5: Dosificación de las adiciones para estabilizar los suelos.

DOSIFICACIONES PARA LA ESTABILIZACIÓN DEL SUELO		
Ensayos	Muestra de afirmado calicata 1	
<b>CANTIDAD DE ENSAYOS DEL AFIRMADO CON ADICIÓN</b>		
CORTE DIRECTO	Dosificación CAL	Dosificación CEMENTO
2 Kg , 4 kg , 8 kg	0.5%	0.5%
2 Kg , 4 kg , 8 kg	1.0%	1.0%
2 Kg , 4 kg , 8 kg	1.5%	1.5%
2 Kg , 4 kg , 8 kg	2.0%	2.0%
2 Kg , 4 kg , 8 kg	2.5%	2.5%
2 Kg , 4 kg , 8 kg	3.0%	3.0%

Fuente: Elaboración propia.

Para la investigación, se seleccionó la carretera Chupuro – Chancaccasa, en la cual se extrajo el material de suelo de la cantera que se empleó para la colocación del afirmado, el trabajo experimental consistió en diseñar y elaborar moldes como especímenes de muestras de suelo añadiendo los aditivos y así poder realizar los ensayos de corte directo, las cuales se prepararon en base a dosificaciones de cal hidratada y cemento andino tipo I.

### 3.2.5. TRATAMIENTO DEL MATERIAL DE SUELO PARA AFIRMADO

Las dosificaciones de cada mezcla con diferentes estabilizadores se realizaron al mismo suelo que fue colocado en el afirmado y que poseen las mismas propiedades físicas en cada espécimen, por lo que se busca determinar las propiedades de resistencia al corte o cizallamiento unidireccional que variará en función de los porcentajes de los aditivos.

El óptimo contenido de humedad con el cual se mezcla las muestras se determinó mediante el ensayo de Proctor Modificado, con el cual se obtiene su máxima densidad seca. Estos datos son importantes porque nos servirán para elaborar los especímenes de muestras para el ensayo de corte directo.

Tabla 6: Tratamiento del material de suelo de afirmado.

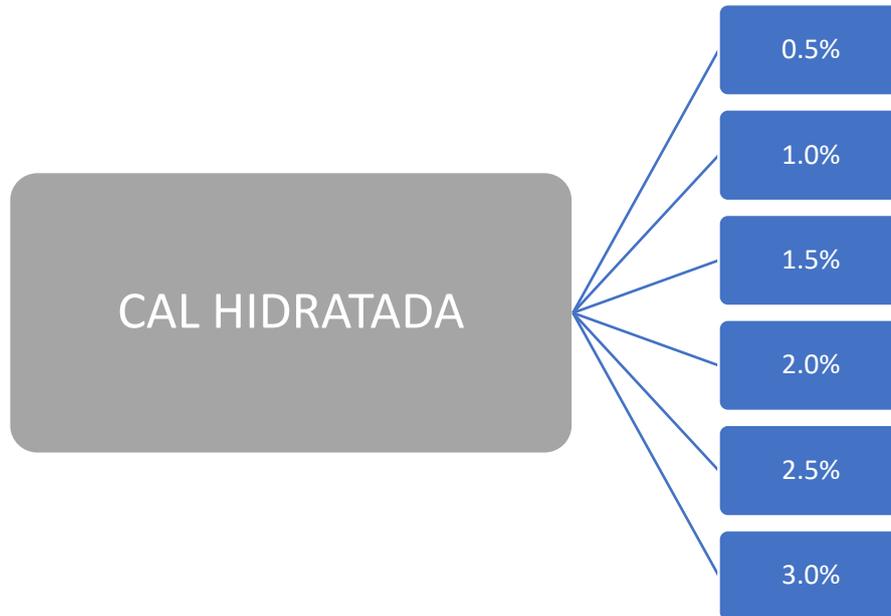
Datos para la elaboración de los especímenes		
ENSAYO	ÓPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD MÁXIMA DENSIDAD SECA	
	Dosificación CAL	Dosificación CEMENTO
CORTE DIRECTO		
2 Kg , 4 kg , 8 kg	0.5%	0.5%
2 Kg , 4 kg , 8 kg	1.0%	1.0%
2 Kg , 4 kg , 8 kg	1.5%	1.5%
2 Kg , 4 kg , 8 kg	2.0%	2.0%
2 Kg , 4 kg , 8 kg	2.5%	2.5%
2 Kg , 4 kg , 8 kg	3.0%	3.0%

Fuente: Elaboración propia.

#### 3.2.5.1. Selección de la dosificación óptima del estabilizador cal hidratada

Se realizó los ensayos de corte directo de las 6 muestras mezcladas con las dosificaciones propuestas para mejorar la resistencia a los esfuerzos de cizallamiento unidireccional.

**Figura 35: Flujograma de la mezcla del afirmado con dosis de cal hidratada.**



**Fuente: Elaboración propia.**

**Figura 36: Elaboración de especímenes con adición de cal para ser ensayada.**



**Fuente: Elaboración propia.**

Se realizaron 6 dosificaciones con la finalidad de obtener la dosificación más óptima que supere el esfuerzo de cizallamiento producido por los vehículos, el cual después del mezclado se observó que se conglomeraron mejor las partículas del material.

**Tabla 7: Dosificación de las mezclas.**

Descripción	Unidad	Adición (Cal Hidratada) por cada espécimen					
		0.5%	1.0%	1.5%	2.0%	2.5%	3.0%
Material seco de afirmado	gr.	300.00	300.00	300.00	300.00	300.00	300.00
Cal Hidratada	gr.	1.50	3.00	4.50	6.00	7.50	9.00
OCH (7.50%)	gr.	22.50	22.50	22.50	22.50	22.50	22.50

**Fuente: Elaboración propia.**

Se realizaron especímenes con 2, 4 y 8 kg con las mismas dosificaciones, para así tener resultados más representativos, por lo que se realizaron 6 ensayos de corte directo con 3 especímenes en cada una de ellas.

### **3.2.5.2. Selección de la dosificación óptima del estabilizador cemento tipo I**

Se procedió a realizar los ensayos de corte directo de las 6 muestras mezcladas con las dosificaciones propuestas para mejorar la resistencia a los esfuerzos de cizallamiento unidireccional.

**Figura 37: Flujograma de la mezcla del afirmado con dosis de cemento andino tipo I.**



**Fuente: Elaboración propia.**

**Figura 38: Realización del espécimen con adición de cemento andino tipo I para ser ensayada.**



**Fuente: Elaboración propia.**

Se realizaron 6 dosificaciones con la finalidad de obtener la dosificación más óptima que supere el esfuerzo de cizallamiento producido por los vehículos, el cual después del mezclado se observó que se conglomeraron mejor las partículas del material.

**Tabla 8: Dosificación de las mezclas.**

Descripción	Unidad	Adición (Cemento tipo I)					
		0.5%	1.0%	1.5%	2.0%	2.5%	3.0%
Material de afirmado	gr.	300.00	300.00	300.00	300.00	300.00	300.00
Cemento Tipo I	gr.	1.50	3.00	4.50	6.00	7.50	9.00
OCH (9.50%)	gr.	22.50	22.50	22.50	22.50	22.50	22.50

**Fuente: Elaboración propia.**

Se realizaron especímenes con 2, 4 y 8 kg con las mismas dosificaciones para tener resultados más representativos, por lo que se realizaron 6 ensayos de corte directo con 3 especímenes en cada una de ellas.

### 3.2.6. EVALUACIÓN DEL ESFUERZO DE CIZALLAMIENTO O DE CORTE ACTUANTE PRODUCIDO POR EL VEHÍCULO EN PENDIENTES MAYORES A 5% Y EN CURVAS CON RADIOS MENORES A 20M

Aquí se determinarán los esfuerzos de cizallamiento que actúan en los sectores críticos de la carretera según la fuerza de fricción que se origina.

- **Resistencia por rodadura**

$$Fr = (P + Pmax) \cdot \mu r \dots \dots (ec. 1)$$

Donde:

- Fr: Resistencia por rodadura (kg)
- P: Peso del vehículo (kg)
- Pmax.: Carga máxima del vehículo (kg)
- $\mu r$ : Coeficiente de rodadura del afirmado (0.15)

Según las especificaciones técnicas de un vehículo liviano:

**Tabla 9: Resistencia por rodadura.**

Especificaciones técnicas de un vehículo liviano				Resistencia por rodadura
Tipo de vehículo	P (kg)	Pmax. (kg)	$\mu r$	Fr (kg)
Vehículo Ligero	1500	300	0.15	270

Fuente: Elaboración propia.

- **Resistencia por pendiente**

$$Fp = (P + Pmax) \cdot \frac{x}{100} \dots \dots (ec. 2)$$

Donde:

- Fp: Resistencia por pendiente (kg)
- P: Peso del vehículo (kg)
- Pmax.: Carga máxima del vehículo (kg)

- x: Pendiente máxima %

Según las especificaciones técnicas de un vehículo liviano:

**Tabla 10: Resistencia por pendiente.**

Especificaciones técnicas de un vehículo liviano				Resistencia por pendiente
Tipo de vehículo	P (kg)	Pmax. (kg)	X (%)	Fp (kg)
Vehículo Ligero	1500	300	5	90

Fuente: Elaboración propia.

- **Resistencia por la inercia**

$$v = v_0 + a \cdot t \dots \dots (ec. 4)$$

$$F_i = P \cdot a \dots \dots (ec. 3)$$

Donde:

- Fi: Resistencia por la inercia (kg)
- P: Peso del vehículo (kg)
- a: Aceleración (m/s<sup>2</sup>)
- t: Tiempo (s)
- v: Velocidad del vehículo (m/s)
- v<sub>0</sub>: Velocidad inicial del vehículo (m/s)

Según las especificaciones técnicas de un vehículo liviano, el vehículo necesita un promedio de 8,2 segundos para alcanzar los 100 km/h, partiendo del estado de reposo que es 0 km/h.

**Tabla 11: Resistencia por la inercia.**

Especificaciones técnicas de un vehículo liviano				Resistencia por la inercia	Resistencia por la inercia
Tipo de vehículo	P (kg)	V (100km/h) (m/s)	a (m/s <sup>2</sup> )	Fi (N)	Fi (kg)
Vehículo Ligero	1500	27.77	3.38	5070	516.82

Fuente: Elaboración propia.

- **Resistencia aerodinámica**

$$Fa = \frac{\gamma \cdot C \cdot S \cdot Vmax^2}{2 \cdot g} \dots \dots (ec. 5)$$

Donde:

- Fa: Resistencia aerodinámica (kg)
- C: Coeficiente obtenido por el fabricante (0.31)
- S: Superficie transversal del vehículo (m<sup>2</sup>)
- $\gamma$ : Peso específico del aire (1.2 kg/m<sup>3</sup>)
- Vmax.: Velocidad máxima del vehículo (km/h)
- g: Gravedad (9.81 m/s<sup>2</sup>)

Según las especificaciones técnicas de un vehículo liviano, la superficie transversal del vehículo S es 2.28 m<sup>2</sup>.

**Tabla 12: Resistencia aerodinámica.**

Especificaciones técnicas de un vehículo liviano			Resistencia aerodinámica
Tipo de vehículo	Vmax (200km/h) (m/s)	S (m <sup>2</sup> )	Fa (kg)
Vehículo Ligero	55.56	2.28	133.45

Fuente: Elaboración propia.

- **Fuerzas de tracción**

$$F_t = F_r + F_p + F_i + F_a \dots \dots (ec. 4)$$

**Tabla 13: Fuerza de tracción total.**

<b>Fuerza de tracción total</b>				
Fr (kg)	Fp (kg)	Fi (kg)	Fa (kg)	Ft (kg)
270	90	516.82	133.45	<b>1010.27</b>

Fuente: Elaboración propia.

A continuación, se determinarán los esfuerzos de cizallamiento actuantes en pendientes mayores a 5% y curvas con radio menores a 20m.

**Tabla 14: Evaluación del esfuerzo de cizallamiento o de corte actuante.**

<b>Esfuerzo de cizallamiento o de corte actuante en pendientes mayor al 5%</b>						
Tipo de vehículo	F tracción Ft (kgf)	Área de contacto de la llanta Ac. (R=3.17 pulg.)	Esfuerzo de cizallamiento actuante (Fact.) Fact=Ft/Ac.			
Ligero	1010.27	203.18 cm <sup>2</sup>	<b>4.97 kg/cm<sup>2</sup></b>			
<b>Esfuerzo de cizallamiento o de corte actuante en curvas con radio menor a 20m</b>						
Tipo de vehículo	Peso vehículo (P) (kgf)	Radio de curva (R) R<Rmin.	Velocidad diseño (Vd) 30 Km/h	Gravedad (m/s <sup>2</sup> )	Fuerza centrífuga (Fcf) Fcf= P.(v <sup>2</sup> )/(g.R)	Esfuerzo de cizallamiento actuante (Fact)=(Fcf+Fr+Fa)/Ac
Ligero	1500	20 m	8.33 m/s	9.81	530.50 kg	<b>4.60 kg/cm<sup>2</sup></b>

Fuente: Elaboración propia.

### **3.2.7. EVALUACIÓN DE LOS ESFUERZOS DE RESISTENCIA AL CORTE MÁXIMOS DEL SUELO DE AFIRMADO**

Aquí se determinarán los esfuerzos cortantes máximos del suelo, en función del ángulo de fricción, cohesión y el esfuerzo axial que transmite el vehículo. En base a esto, se determinarán los esfuerzos cortantes máximos con adiciones de cal y cemento para determinar la dosis óptima.

La resistencia al esfuerzo cortante está representada por la ecuación de Coulomb.

$$\tau_{max} = C + \sigma n \cdot tg(\emptyset) \dots \dots (ec. 9)$$

En la que:

- $\tau_{max}$  : resistencia máxima al corte del suelo
- $c$ : cohesión del suelo
- $\sigma n$  : esfuerzo normal intergranular
- $\emptyset$  : ángulo de fricción interna del suelo

## **CAPÍTULO IV**

### **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

#### **4.1. ANÁLISIS DE RESULTADOS**

##### **4.1.1. PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DEL SUELO A NIVEL DE AFIRMADO SIN ADICIÓN**

Las muestras representativas del material de afirmado se han obtenido en cantidades suficientes para poder realizar los ensayos de laboratorio correspondientes, teniéndose un debido cuidado en la identificación y embalados en costales plásticos para su conservación y traslado al laboratorio, tal como nos dice la Norma NTP 339.151, que nos menciona las prácticas estándar para preservación y transporte de muestras de suelos.

Con la finalidad de poder determinar las propiedades físicas y mecánicas de las muestras, estas se realizaron mediante guías de ensayos de laboratorio y normas técnicas, además se aclara que los certificados de los ensayos se muestran en los anexos.

##### **4.1.1.1. Contenido de humedad**

En la Tabla 15, se muestra el resumen de los resultados del contenido de humedad del suelo (material de afirmado), que nos indica el contenido de agua que contiene ésta. (Anexos Figuras 51 y 58)

Tabla 15: Resumen de resultados del contenido de humedad.

CONTENIDO DE HUMEDAD (%)				
Calicata	Muestra			Promedio (%)
	M1	M2	M3	
C-01	4.02	3.96	4.01	4.0
C-02	4.99	5.02	4.98	5.0

Fuente: Elaboración propia.

#### 4.1.1.2. Análisis granulométrico por tamizado

Se registraron los porcentajes pasantes en cada tamiz, para determinar los porcentajes de gravas, arenas y finos (Anexos Figuras 53 y 60)

Tabla 16: Resultado granulométrico del suelo a nivel de afirmado.

Malla		% Pasante Acumulado	
Tamiz	Abertura mm.	Calicata	
		C-01	C-02
3"	76.200	100.0	100.0
2 1/2"	63.500	100.0	100.0
2"	50.800	100.0	100.0
1 1/2"	38.100	89.1	100.0
1"	25.400	79.2	90.7
3/4"	19.050	70.0	78.0
1/2"	12.700	56.5	64.4
3/8"	9.525	50.6	57.4
1/4"	6.350	46.1	49.4
N° 4	4.760	41.7	44.3
N° 8	2.360	33.5	35.7
N° 10	2.000	33.1	35.4
N° 16	1.190	28.2	30.4
N° 20	0.840	26.7	28.8
N° 30	0.590	25.3	27.4
N° 40	0.426	24.0	26.0
N° 50	0.300	23.1	25.0
N° 60	0.250	23.1	25.0
N° 80	0.177	21.3	22.0
N° 100	0.149	20.3	21.7
N° 200	0.074	18.9	20.9
Fondo		0.00	0.00

Fuente: Elaboración propia.

Cabe mencionar que la granulometría obtenida cumple con las especificaciones de los husos granulométricos para afirmado (gradación A).

**Tabla 17: Porcentaje de suelo.**

SUELO	Calicata	
	C-01	C-02
Grava 3" - N° 4 :	58.34 %	55.68 %
Arena N° 4 - N° 200 :	22.74 %	23.37 %
Finos < N° 200 :	18.93 %	20.95 %

Fuente: Elaboración propia.

#### 4.1.1.3. Límites de Atterberg

A continuación, se muestra el resumen de los resultados obtenidos del límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad. Estos resultados son muy importantes porque nos ayudan a clasificar el suelo a nivel de afirmado (Anexos Figuras 52 y 59)

**Tabla 18: Resultados del límite líquido, plástico e índice de plasticidad.**

Calicata	Límite Líquido (%)	Límite Plástico (%)	Índice de Plasticidad (%)
C-01	27.89	23.76	4.12
C-02	26.04	19.68	6.36

Fuente: Elaboración propia.

#### 4.1.1.4. Clasificación del suelo según el método SUCS y AASHTO

Para la clasificación del suelo por el método SUCS, se consideró la granulometría, los porcentajes pasantes acumulados de las mallas N° 4, N° 200 y los límites líquido y plástico. Para la clasificación AASHTO, se consideró la granulometría de los pasantes acumulados de las mallas N° 10, N° 40 y N° 200, los límites, líquido, plástico y el índice de grupo IG.

**Tabla 19: Clasificación SUCS de muestras representativas.**

<b>CLASIFICACIÓN DE SUELOS SEGÚN SUCS Y AASHTO</b>		
<b>Calicata</b>	C-1	C-2
<b>Grava 3" - N° 4</b>	58.34 %	55.68 %
<b>Arena N° 4 - N° 200</b>	22.74 %	23.37 %
<b>Finos &lt; N° 200</b>	18.93 %	20.95 %
<b>Límite Líquido (LL)</b>	27.89 %	26.04 %
<b>Límite Plástico (LP)</b>	23.76 %	19.68 %
<b>Índice Plástico (IP)</b>	4.12 %	6.36 %
<b>Clasificación SUCS</b>	GC-GM	GC-GM
<b>Denominación</b>	Grava Limo-Arcillosa	Grava Limo-Arcillosa
<b>Clasificación AASHTO</b>	A-1-b (0)	A-2-4 (0)
<b>Denominación</b>	Grava con Arena Limosa	Grava con Arena Limo-Arcillosas

Fuente: Elaboración propia.

#### **4.1.1.5. Ensayo Proctor Modificado**

Mediante este ensayo, se determinó el óptimo contenido de humedad y la máxima densidad seca del suelo a nivel de afirmado. Previamente, se determinó el método de ensayo Proctor Modificado para determinar el material con el que se ensayará. (Anexos Figuras 54 y 61)

**Tabla 20: Resultados del ensayo de Proctor Modificado.**

<b>Calicata</b>	<b>Óptimo Contenido de Humedad (%)</b>	<b>Máxima Densidad Seca (gr/cm<sup>3</sup>)</b>
C-01	7.50 %	2.17
C-02	8.20 %	2.10

Fuente: Elaboración propia.

#### **4.1.1.6. Ensayo de CBR (Valor Relativo de Soporte)**

El valor de CBR se utiliza para evaluar la capacidad de soporte de los suelos de subrasante y de capas de base, sub-base y de afirmado. (Anexos Figuras 56 y 63)

Tabla 21: Resultados del ensayo C.B.R.

Calicata	Óptimo Contenido de Humedad (%)	Máxima Densidad Seca (gr/cm <sup>3</sup> )	CBR - Penetración 0.1"	
			100 % de la MDS	95 % de la MDS
C-01	7.50	2.17	64.96	38.24
C-02	8.20	2.10	55.34	34.56

Fuente: Elaboración propia.

#### 4.1.1.7. Ensayo de corte directo

En las tablas siguientes, se resumen los ensayos de corte directo, determinando los parámetros de resistencia como el ángulo de fricción ( $\phi$ ) y cohesión (C) del suelo.

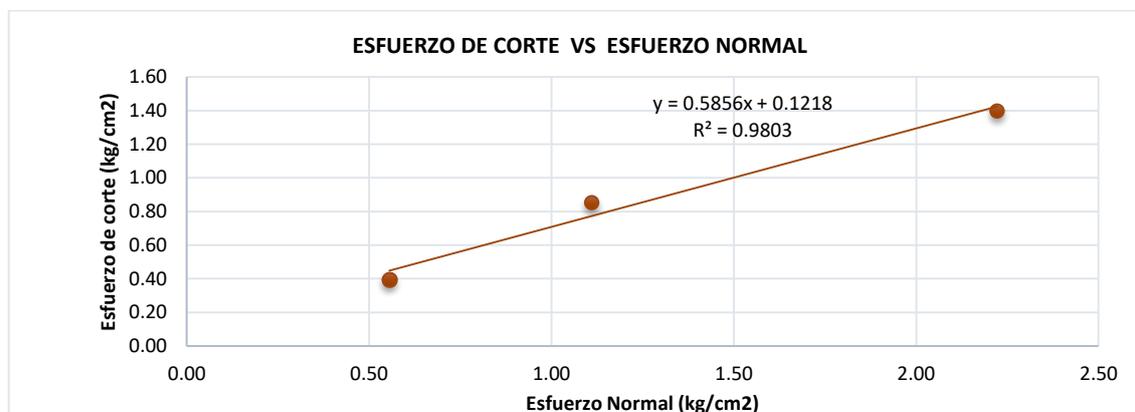
#### Calicata C-01: (Anexo Figura 57)

Tabla 22: Resultados del ensayo de corte directo C-01, M-1.

Calicata : C-01		Profundidad:		Cantera	Velocidad :		0.25 mm/min
Muestra : M-1		Estado :		Alterado	Área :		36 cm <sup>2</sup>
ESPECIMEN 01			ESPÉCIMEN 02			ESPÉCIMEN 03	
Altura :	20.10	mm	Altura :	20.10	mm	Altura :	20.10 mm
Diámetro/L :	60.00	mm	Diámetro :	60.00	mm	Diámetro :	60.00 mm
Esf. Normal :	0.56	kg/cm <sup>2</sup>	Esf. Normal :	1.11	kg/cm <sup>2</sup>	Esf. Normal :	2.22 kg/cm <sup>2</sup>
Esf. Corte :	0.39	kg/cm <sup>2</sup>	Esf. Corte :	0.85	kg/cm <sup>2</sup>	Esf. Corte :	1.40 kg/cm <sup>2</sup>

Fuente: Elaboración propia.

Gráfico 1: Esfuerzo normal vs Esfuerzo cortante C-01, M-1.



Fuente: Elaboración propia.

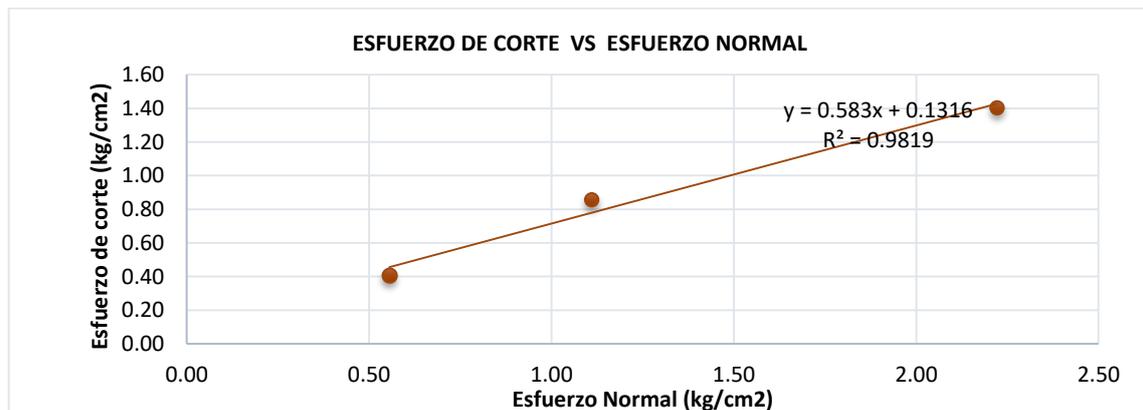
### Calicata C-02: (Anexo Figura 64)

Tabla 23: Resultados del ensayo de corte directo C-02, M-1.

Calicata : C-02		Profundidad:		Cantera	Velocidad :		0.25 mm/min
Muestra : M-1		Estado :		Alterado	Área :		36 cm <sup>2</sup>
ESPÉCIMEN 01			ESPÉCIMEN 02			ESPÉCIMEN 03	
Altura :	20.10	mm	Altura :	20.10	mm	Altura :	20.10 mm
Diámetro/L :	60.00	mm	Diámetro :	60.00	mm	Diámetro :	60.00 mm
Esf. Normal :	0.56	kg/cm <sup>2</sup>	Esf. Normal :	1.11	kg/cm <sup>2</sup>	Esf. Normal :	2.22 kg/cm <sup>2</sup>
Esf. Corte :	0.40	kg/cm <sup>2</sup>	Esf. Corte :	0.86	kg/cm <sup>2</sup>	Esf. Corte :	1.40 kg/cm <sup>2</sup>

Fuente: Elaboración propia.

Gráfico 2: Esfuerzo normal vs Esfuerzo cortante C-02, M-1.



Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla 24, se muestra el resumen de los parámetros de resistencia, asimismo los parámetros son cercanos para cada tipo de suelo.

Tabla 24: Resumen de los Parámetros de Resistencia de cada calicata.

Calicata/Cantera	SUCS	$\sigma_n$ (kg/cm <sup>2</sup> )	$\tau$ máx. (kg/cm <sup>2</sup> )	C (kg/cm <sup>2</sup> )	$\phi$ (°)
C-1	GC-GM	0.56	0.39	0.1218	30.35
		1.11	0.85		
		2.22	1.40		
C-2	GC-GM	0.56	0.40	0.1316	30.24
		1.11	0.86		
		2.22	1.40		

Fuente: Elaboración propia.

#### 4.1.2. EFECTOS DE LAS DOSIFICACIONES DE ADICIONES PARA LA ESTABILIZACIÓN DEL AFIRMADO EXPUESTAS A CIZALLAMIENTO UNIDIRECCIONAL

Se realizaron ensayos de corte directo con las siguientes proporciones de cal hidratada y cemento tipo I: 0.5%, 1.0%, 1.5%, 2.0%, 2.5% y 3.0% del peso seco del suelo.

##### 4.1.2.1. Dosificación de cal hidratada como adición para incrementar los esfuerzos de corte máximo resistente

Para determinar el efecto de las dosificaciones de cal, se trabajó con la calicata 1.

En las tablas siguientes, se resumen los ensayos de corte directo, determinando los parámetros de resistencia como el ángulo de fricción ( $\phi$ ) y cohesión (C) del suelo.

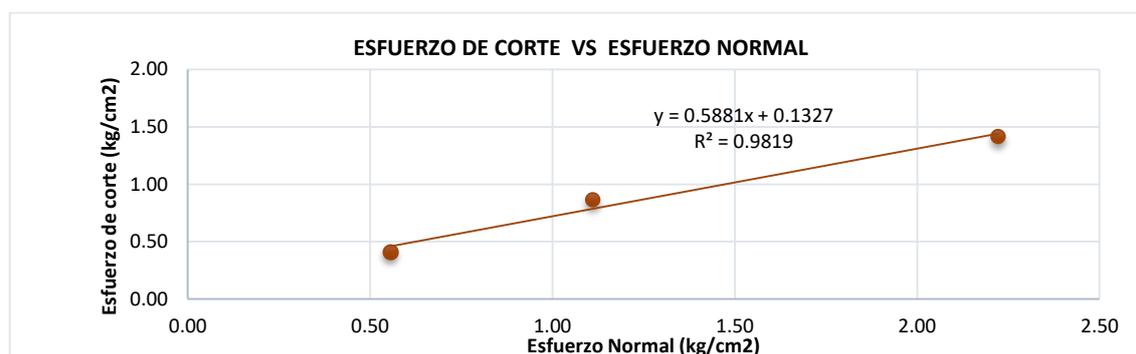
##### Calicata C-01: (anexos fig. 65,66,67,68,69 y 70)

Tabla 25: Resultados del ensayo de corte directo C-01 + 0.5% Cal Hidratada.

Calicata : C-01		Profundidad:		Cantera	Velocidad :		0.25 mm/min
Muestra : + 0.5% cal		Estado :		Alterado	Área :		36 cm <sup>2</sup>
ESPÉCIMEN 01			ESPÉCIMEN 02			ESPÉCIMEN 03	
Altura :	20.10	mm	Altura :	20.10	mm	Altura :	20.10 mm
Diámetro/L :	60.00	mm	Diámetro :	60.00	mm	Diámetro :	60.00 mm
Esf. Normal :	0.56	kg/cm <sup>2</sup>	Esf. Normal :	1.11	kg/cm <sup>2</sup>	Esf. Normal :	2.22 kg/cm <sup>2</sup>
Esf. Corte :	0.41	kg/cm <sup>2</sup>	Esf. Corte :	0.86	kg/cm <sup>2</sup>	Esf. Corte :	1.41 kg/cm <sup>2</sup>

Fuente: Elaboración propia.

**Gráfico 3: Esfuerzo normal vs Esfuerzo cortante C-01 + 0.5% cal.**



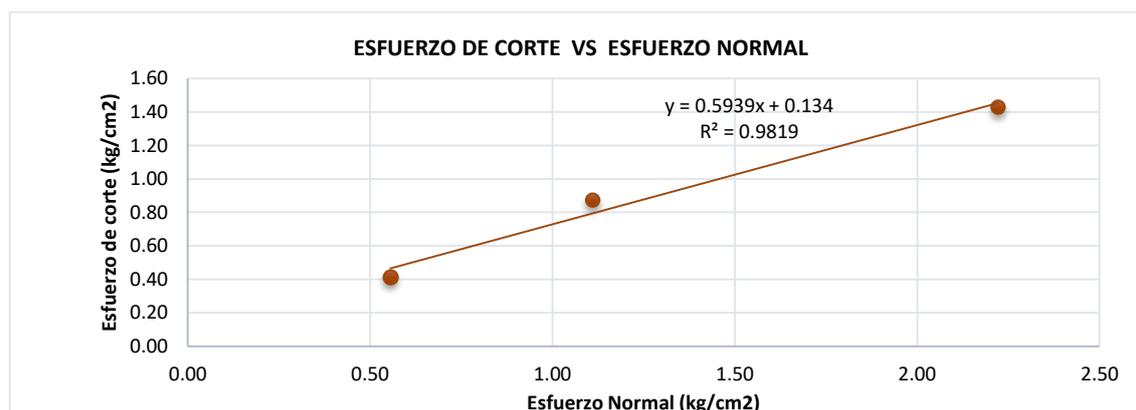
Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 26: Resultados del ensayo de corte directo C-01 + 1.0% Cal Hidratada.**

<b>Calicata : C-01</b>		<b>Profundidad:</b>	Cantera	<b>Velocidad :</b>	0.25 mm/min
<b>Muestra : +1.0% cal</b>		<b>Estado :</b>	Alterado	<b>Área :</b>	36 cm²
<b>ESPÉCIMEN 01</b>		<b>ESPÉCIMEN 02</b>		<b>ESPÉCIMEN 03</b>	
Altura :	20.10 mm	Altura :	20.10 mm	Altura :	20.10 mm
Diámetro/L :	60.00 mm	Diámetro :	60.00 mm	Diámetro :	60.00 mm
<b>Esf. Normal :</b>	<b>0.56 kg/cm²</b>	<b>Esf. Normal :</b>	<b>1.11 kg/cm²</b>	<b>Esf. Normal :</b>	<b>2.22 kg/cm²</b>
<b>Esf. Corte :</b>	<b>0.41 kg/cm²</b>	<b>Esf. Corte :</b>	<b>0.87 kg/cm²</b>	<b>Esf. Corte :</b>	<b>1.43 kg/cm²</b>

Fuente: Elaboración propia.

**Gráfico 4: Esfuerzo normal vs. Esfuerzo cortante C-01 + 1.0% cal.**



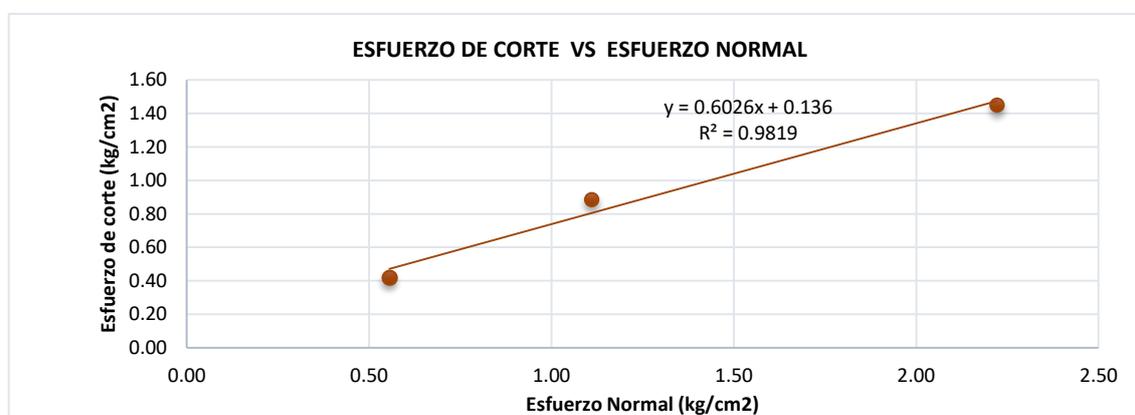
Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 27: Resultados del ensayo de corte directo C-01 + 1.5% Cal Hidratada.**

<b>Calicata : C-01</b>	<b>Profundidad:</b>	Cantera	<b>Velocidad :</b>	0.25 mm/min	
<b>Muestra : +1.5% cal</b>	<b>Estado :</b>	Alterado	<b>Área :</b>	36 cm2	
<b>ESPÉCIMEN 01</b>		<b>ESPÉCIMEN 02</b>		<b>ESPÉCIMEN 03</b>	
Altura :	20.10 mm	Altura :	20.10 mm	Altura :	20.10 mm
Diámetro/L :	60.00 mm	Diámetro :	60.00 mm	Diámetro :	60.00 mm
<b>Esf. Normal :</b>	<b>0.56 kg/cm2</b>	<b>Esf. Normal :</b>	<b>1.11 kg/cm2</b>	<b>Esf. Normal :</b>	<b>2.22 kg/cm2</b>
<b>Esf. Corte :</b>	<b>0.42 kg/cm2</b>	<b>Esf. Corte :</b>	<b>0.88 kg/cm2</b>	<b>Esf. Corte :</b>	<b>1.45 kg/cm2</b>

Fuente: Elaboración propia.

**Gráfico 5: Esfuerzo normal vs. Esfuerzo cortante C-01 + 1.5% cal.**



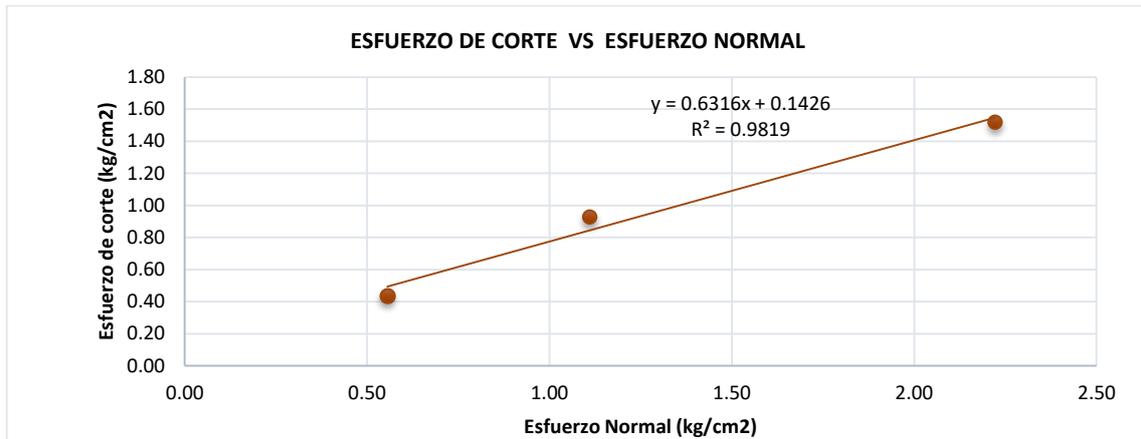
Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 28: Resultados del ensayo de corte directo C-01 + 2.0% Cal Hidratada.**

<b>Calicata : C-01</b>	<b>Profundidad:</b>	Cantera	<b>Velocidad :</b>	0.25 mm/min	
<b>Muestra : +2.0% cal</b>	<b>Estado :</b>	Alterado	<b>Área :</b>	36 cm2	
<b>ESPÉCIMEN 01</b>		<b>ESPÉCIMEN 02</b>		<b>ESPÉCIMEN 03</b>	
Altura :	20.10 mm	Altura :	20.10 mm	Altura :	20.10 mm
Diámetro/L :	60.00 mm	Diámetro :	60.00 mm	Diámetro :	60.00 mm
<b>Esf. Normal :</b>	<b>0.56 kg/cm2</b>	<b>Esf. Normal :</b>	<b>1.11 kg/cm2</b>	<b>Esf. Normal :</b>	<b>2.22 kg/cm2</b>
<b>Esf. Corte :</b>	<b>0.44 kg/cm2</b>	<b>Esf. Corte :</b>	<b>0.93 kg/cm2</b>	<b>Esf. Corte :</b>	<b>1.52 kg/cm2</b>

Fuente: Elaboración propia.

**Gráfico 6: Esfuerzo normal vs. Esfuerzo cortante C-01 + 2.0% cal.**



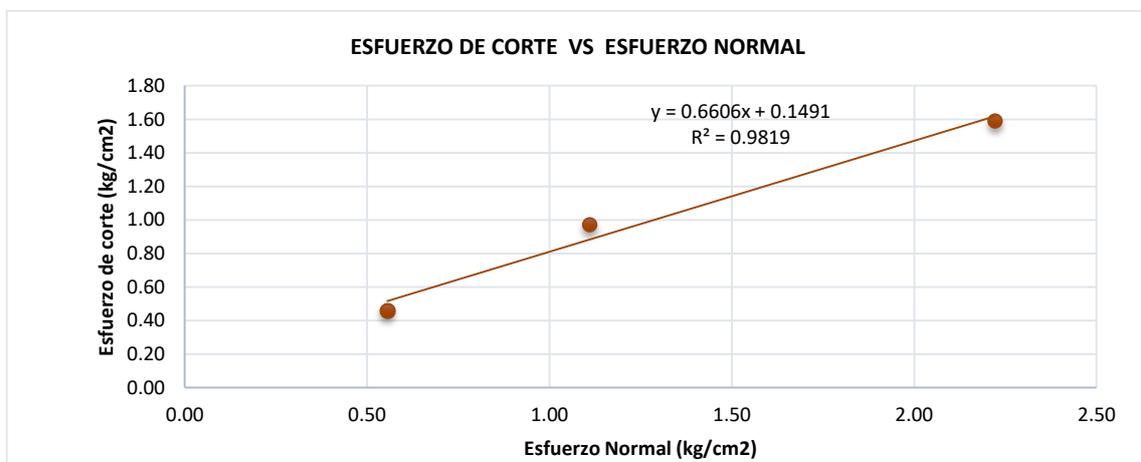
Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 29: Resultados del ensayo de corte directo C-01 + 2.5% Cal Hidratada.**

Calicata : C-01		Profundidad:		Cantera	Velocidad :	0.25 mm/min
Muestra : +2.5% cal		Estado :		Alterado	Área :	36 cm²
ESPÉCIMEN 01		ESPÉCIMEN 02		ESPÉCIMEN 03		
Altura :	20.10 mm	Altura :	20.10 mm	Altura :	20.10 mm	
Diámetro/L :	60.00 mm	Diámetro :	60.00 mm	Diámetro :	60.00 mm	
Esf. Normal :	0.56 kg/cm²	Esf. Normal :	1.11 kg/cm²	Esf. Normal :	2.22 kg/cm²	
Esf. Corte :	0.46 kg/cm²	Esf. Corte :	0.97 kg/cm²	Esf. Corte :	1.59 kg/cm²	

Fuente: Elaboración propia.

**Gráfico 7: Esfuerzo normal vs. Esfuerzo cortante C-01 + 2.5% cal.**



Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 30: Resultados del ensayo de corte directo C-01 + 3.0% Cal Hidratada.**

Calicata : C-01		Profundidad:		Cantera	Velocidad :		0.25 mm/min
Muestra : +3.0% cal		Estado :		Alterado	Área :		36 cm <sup>2</sup>
ESPÉCIMEN 01			ESPÉCIMEN 02			ESPÉCIMEN 03	
Altura :	20.10	mm	Altura :	20.10	mm	Altura :	20.10 mm
Diámetro/L :	60.00	mm	Diámetro :	60.00	mm	Diámetro :	60.00 mm
Esf. Normal :	0.56	kg/cm <sup>2</sup>	Esf. Normal :	1.11	kg/cm <sup>2</sup>	Esf. Normal :	2.22 kg/cm <sup>2</sup>
Esf. Corte :	0.47	kg/cm <sup>2</sup>	Esf. Corte :	1.00	kg/cm <sup>2</sup>	Esf. Corte :	1.64 kg/cm <sup>2</sup>

Fuente: Elaboración propia.

**Gráfico 8: Esfuerzo normal vs. Esfuerzo cortante C-01+ 3.0% cal.**



Fuente: Elaboración propia.

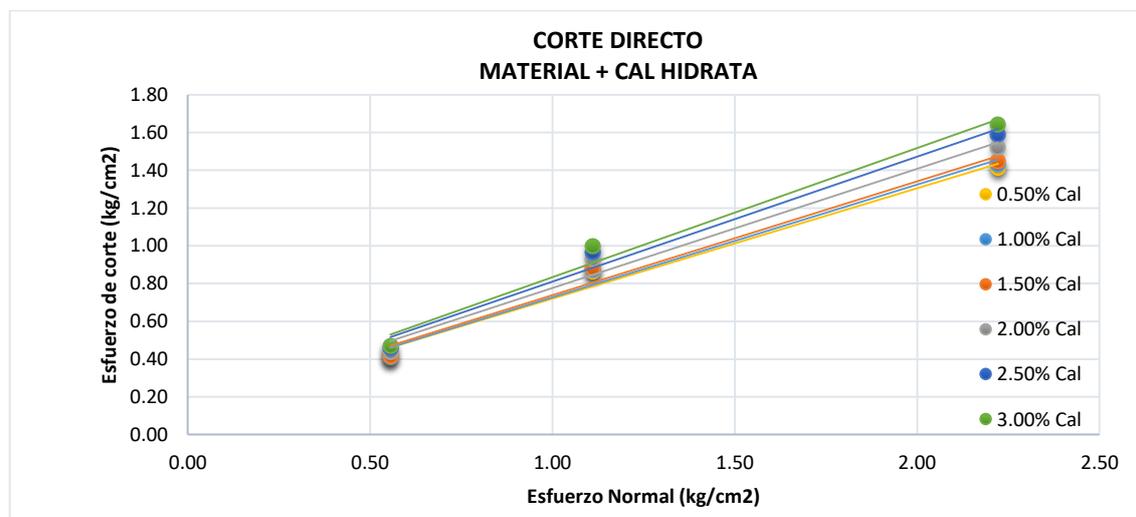
En la Tabla 31, se resumen los parámetros de resistencia obtenidos con el ensayo de corte con diferentes dosificaciones de cal:

**Tabla 31: Resultados de los ensayos de corte directo con adiciones de cal hidratada.**

Parámetros de resistencia con adiciones de cal						
Calicata	C-1					
Espécimen	2kg	4kg	8kg			
<b>Esfuerzo Normal <math>\sigma_n</math>(kg/cm<sup>2</sup>)</b>	0.56	1.11	2.20			
Esfuerzo cortante $\tau$ (kg/cm <sup>2</sup> ) - cal 0.5%	0.41	0.86	1.41			
Esfuerzo cortante $\tau$ (kg/cm <sup>2</sup> ) - cal 1.0%	0.41	0.87	1.43			
Esfuerzo cortante $\tau$ (kg/cm <sup>2</sup> ) - cal 1.5%	0.42	0.88	1.45			
Esfuerzo cortante $\tau$ (kg/cm <sup>2</sup> ) - cal 2.0%	0.44	0.93	1.52			
Esfuerzo cortante $\tau$ (kg/cm <sup>2</sup> ) - cal 2.5%	0.46	0.97	1.59			
Esfuerzo cortante $\tau$ (kg/cm <sup>2</sup> ) - cal 3.0%	0.47	1.00	1.64			
RESUMEN DE PARÁMETROS DE RESISTENCIA						
% Adición de cal	0.5%	1.0%	1.5%	2.0%	2.5%	3.0 %
<b>Cohesión C (kg/cm<sup>2</sup>)</b>	0.1327	0.1340	0.1360	0.1426	0.1491	0.1540
<b>Ángulo de fricción (<math>\phi^\circ</math>)</b>	30.46°	30.71°	31.07°	32.28°	33.45°	34.31°

Fuente: Elaboración propia.

**Gráfico 9: Corte directo del suelo + %Cal.**



Fuente: Elaboración propia.

#### 4.1.2.2. Evaluación y comparación de los esfuerzos de cizallamiento producidos por el vehículo con la máxima resistencia cortante del afirmado

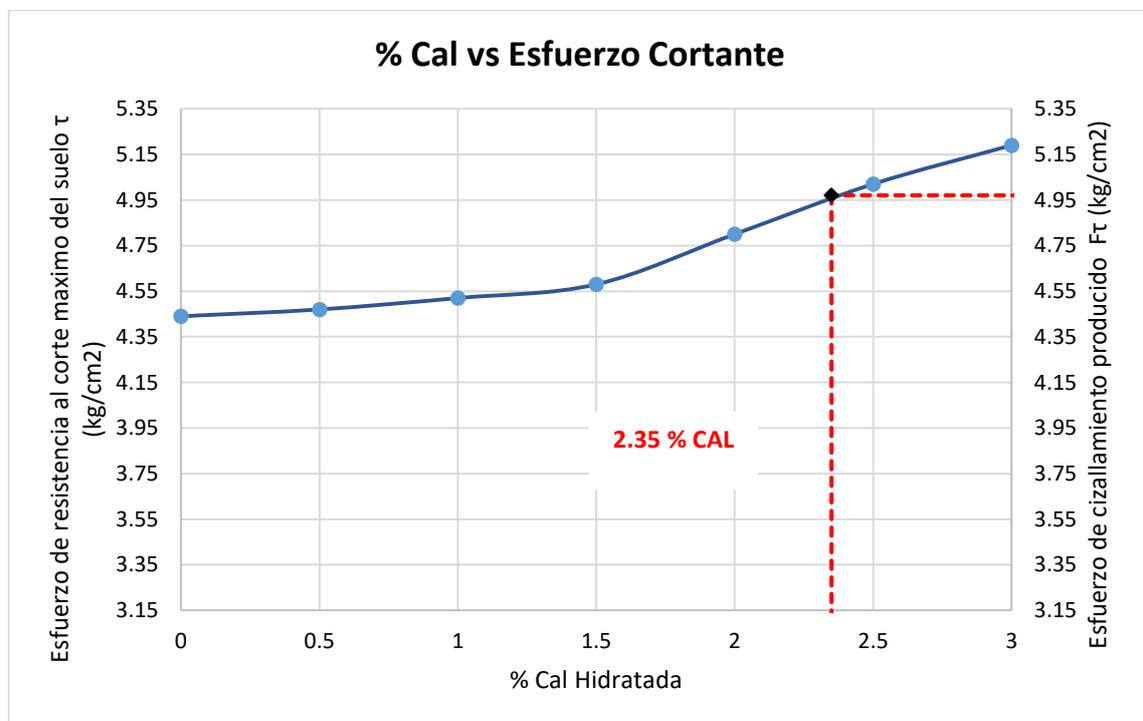
En la Tabla 32, se resume los esfuerzos resistentes máximos, así como el esfuerzo de corte o cizallamiento producido por el vehículo ligero.

Tabla 32: Resultados de los ensayos de corte directo con adiciones de cal hidratada.

Calicata Cantera	SUCS	% de Cal	C (kg/cm <sup>2</sup> )	Ø (°)	σn=W/Ac (kg/cm <sup>2</sup> )	Esfuerzo de Resistencia al corte máxima τ=C+σn.tg(Ø°) (kg/cm <sup>2</sup> )	Esfuerzo de cizallamiento actuante τ act. (pendiente>5%)	Esfuerzo de cizallamiento actuante τ act. (Curva R<20m)
C-1	GC-GM	0.0%	0.1218	30.35	7.38	4.44	4.97	4.60
		0.5%	0.1327	30.46	7.38	4.47	4.97	4.60
		1.0%	0.1340	30.71	7.38	4.52	4.97	4.60
		1.5%	0.1360	31.07	7.38	4.58	4.97	4.60
		<b>2.0%</b>	<b>0.1426</b>	<b>32.28</b>	<b>7.38</b>	<b>4.80</b>	4.97	4.60
		<b>2.5%</b>	<b>0.1491</b>	<b>33.45</b>	<b>7.38</b>	<b>5.02</b>	4.97	4.60
		3.0%	0.1540	34.31	7.38	5.19	4.97	4.60

Fuente: Elaboración propia.

Gráfico 10: Esfuerzo cortante vs. % Adición de Cal.



Fuente: Elaboración propia.

#### 4.1.2.3. Evaluación de la capacidad de soporte del suelo con adiciones de cal

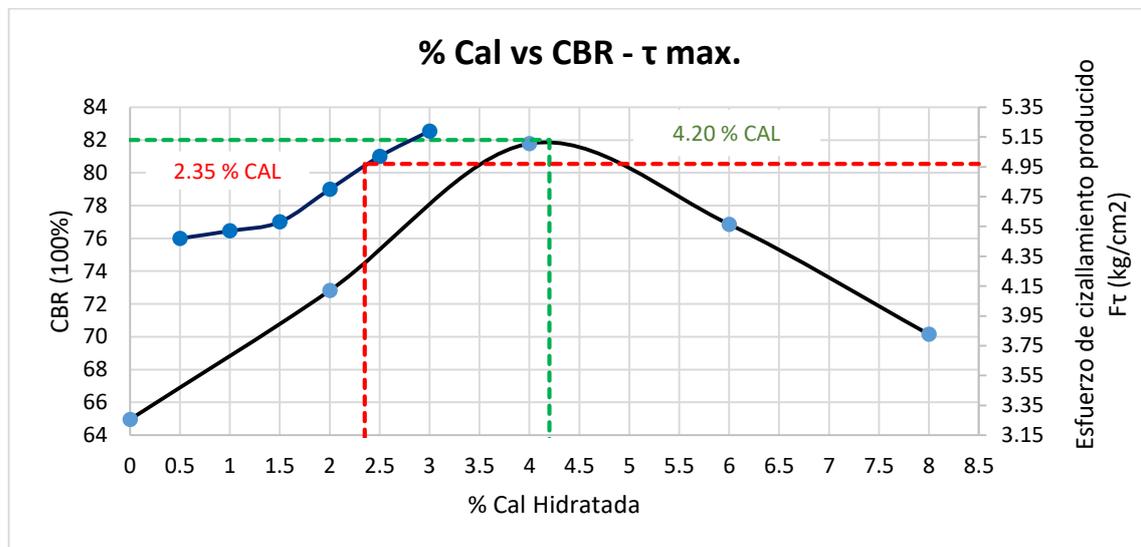
En la Tabla 33, se resumen los valores relativos de soporte CBR al 100% y 95% de la MDS, con porcentajes de 2%, 4%, 6% y 8% de cal hidratada.

Tabla 33: Resultados de los ensayos de CBR con adiciones de cal hidratada.

Calicata Cantera	SUCS	% de Cal	CBR 100%	CBR 95%
C-1	GC-GM	0.0%	64.96	38.24
		2.0%	72.82	38.30
		4.0%	81.78	39.60
		6.0%	76.86	38.20
		8.0%	70.15	37.70

Fuente: Elaboración propia.

Gráfico 11: % CBR vs. % Cal Hidratada.



Fuente: Elaboración propia.

#### 4.1.2.4. Dosificación de cemento tipo I como adición para incrementar los esfuerzos de corte máximo resistente

Para evaluar el efecto de las dosificaciones de la adición se trabajó con la calicata 1. En las tablas siguientes, se resumen los ensayos de corte directo, determinando los parámetros de resistencia como el ángulo de fricción ( $\phi$ ) y cohesión (C) del suelo.

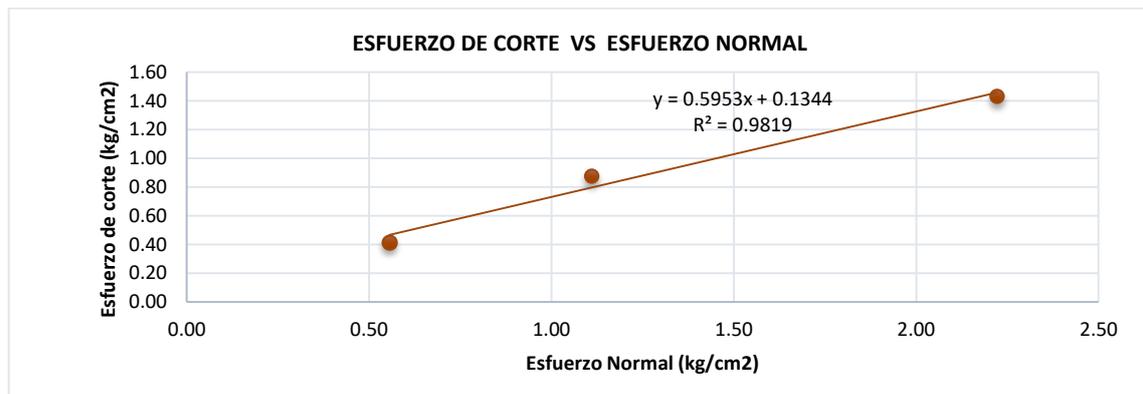
### Calicata C-01: (anexos Figuras 79,80,81,82,83 y 84)

Tabla 34: Resultados del ensayo de corte directo C-01 + 0.5% Cemento tipo I.

Calicata : C-01			Profundidad:			Cantera			Velocidad :		
Muestra:+0.5%cemento			Estado :			Alterado			Área :		
ESPÉCIMEN 01				ESPÉCIMEN 02				ESPÉCIMEN 03			
Altura :	20.10	mm	Altura :	20.10	mm	Altura :	20.10	mm	Altura :	20.10	mm
Diámetro/L :	60.00	mm	Diámetro :	60.00	mm	Diámetro :	60.00	mm	Diámetro :	60.00	mm
Esf. Normal :	0.56	kg/cm2	Esf. Normal :	1.11	kg/cm2	Esf. Normal :	2.22	kg/cm2	Esf. Normal :	2.22	kg/cm2
Esf. Corte :	0.41	kg/cm2	Esf. Corte :	0.87	kg/cm2	Esf. Corte :	1.43	kg/cm2	Esf. Corte :	1.43	kg/cm2

Fuente: Elaboración propia.

Gráfico 12: Esfuerzo normal vs. Esfuerzo cortante C-01 + 0.5% cemento tipo I.



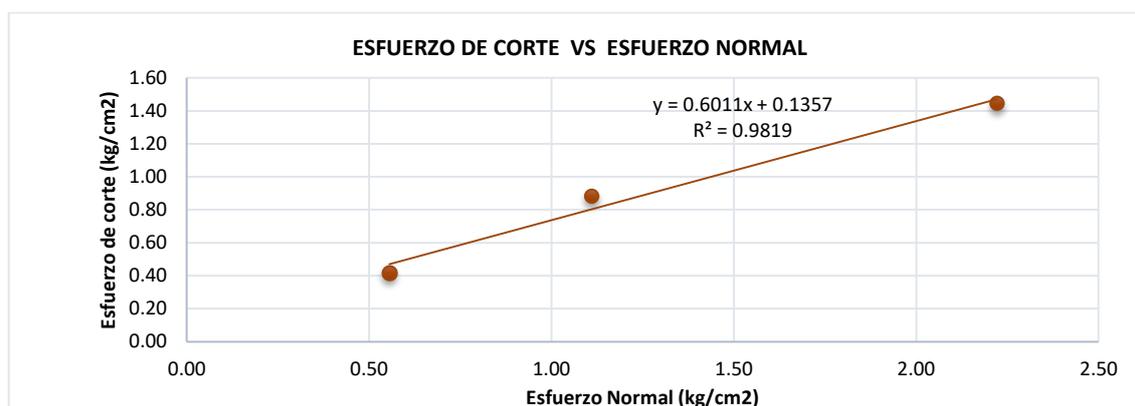
Fuente: Elaboración propia.

Tabla 35: Resultados del ensayo de corte directo C-01 + 1.0% Cemento tipo I.

Calicata : C-01			Profundidad:			Cantera			Velocidad :		
Muestra:+1.0%cemento			Estado :			Alterado			Área :		
ESPÉCIMEN 01				ESPÉCIMEN 02				ESPÉCIMEN 03			
Altura :	20.10	mm	Altura :	20.10	mm	Altura :	20.10	mm	Altura :	20.10	mm
Diámetro/L :	60.00	mm	Diámetro :	60.00	mm	Diámetro :	60.00	mm	Diámetro :	60.00	mm
Esf. Normal :	0.56	kg/cm2	Esf. Normal :	1.11	kg/cm2	Esf. Normal :	2.22	kg/cm2	Esf. Normal :	2.22	kg/cm2
Esf. Corte :	0.42	kg/cm2	Esf. Corte :	0.88	kg/cm2	Esf. Corte :	1.45	kg/cm2	Esf. Corte :	1.45	kg/cm2

Fuente: Elaboración propia.

**Gráfico 13: Esfuerzo normal vs. Esfuerzo cortante C-01 + 1.0% cemento tipo I.**



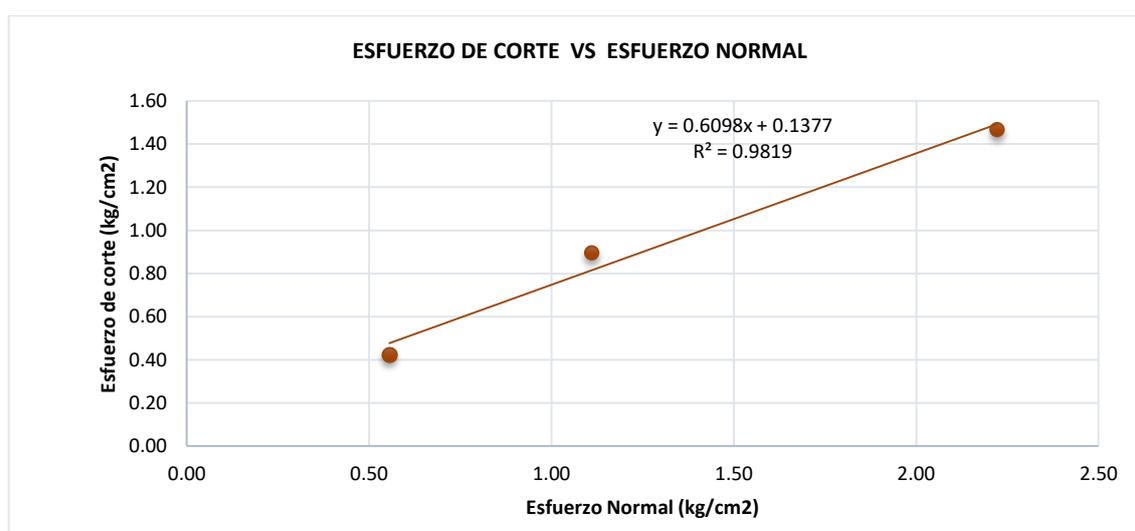
Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 36: Resultados del ensayo de corte directo C-01 + 1.5% Cemento tipo I.**

Calicata : C-01		Profundidad:		Cantera	Velocidad : 0.25 mm/min			
Muestra:+1.5%cemento		Estado :		Alterado	Área : 36 cm²			
ESPÉCIMEN 01			ESPÉCIMEN 02			ESPÉCIMEN 03		
Altura :	20.10	mm	Altura :	20.10	mm	Altura :	20.10	mm
Diámetro/L :	60.00	mm	Diámetro :	60.00	mm	Diámetro :	60.00	mm
Esf. Normal :	0.56	kg/cm²	Esf. Normal :	1.11	kg/cm²	Esf. Normal :	2.22	kg/cm²
Esf. Corte :	0.42	kg/cm²	Esf. Corte :	0.89	kg/cm²	Esf. Corte :	1.47	kg/cm²

Fuente: Elaboración propia.

**Gráfico 14: Esfuerzo normal vs. Esfuerzo cortante C-01 + 1.5% cemento tipo I.**



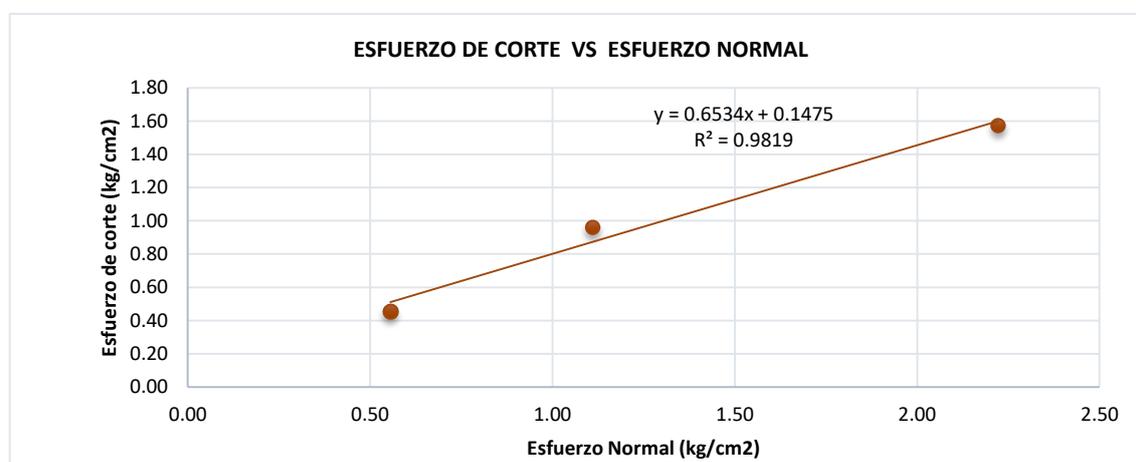
Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 37: Resultados del ensayo de corte directo C-01 + 2.0% Cemento tipo I.**

<b>Calicata : C-01</b>	<b>Profundidad:</b>	Cantera	<b>Velocidad :</b>	0.25 mm/min	
<b>Muestra:+2.0%cemento</b>	<b>Estado :</b>	Alterado	<b>Área :</b>	36 cm2	
<b>ESPÉCIMEN 01</b>		<b>ESPÉCIMEN 02</b>		<b>ESPÉCIMEN 03</b>	
Altura :	20.10 mm	Altura :	20.10 mm	Altura :	20.10 mm
Diámetro/L :	60.00 mm	Diámetro :	60.00 mm	Diámetro :	60.00 mm
<b>Esf. Normal :</b>	<b>0.56 kg/cm2</b>	<b>Esf. Normal :</b>	<b>1.11 kg/cm2</b>	<b>Esf. Normal :</b>	<b>2.22 kg/cm2</b>
<b>Esf. Corte :</b>	<b>0.45 kg/cm2</b>	<b>Esf. Corte :</b>	<b>0.96 kg/cm2</b>	<b>Esf. Corte :</b>	<b>1.57 kg/cm2</b>

Fuente: Elaboración propia.

**Gráfico 15: Esfuerzo normal vs. Esfuerzo cortante C-01 + 2.0% cemento tipo I.**



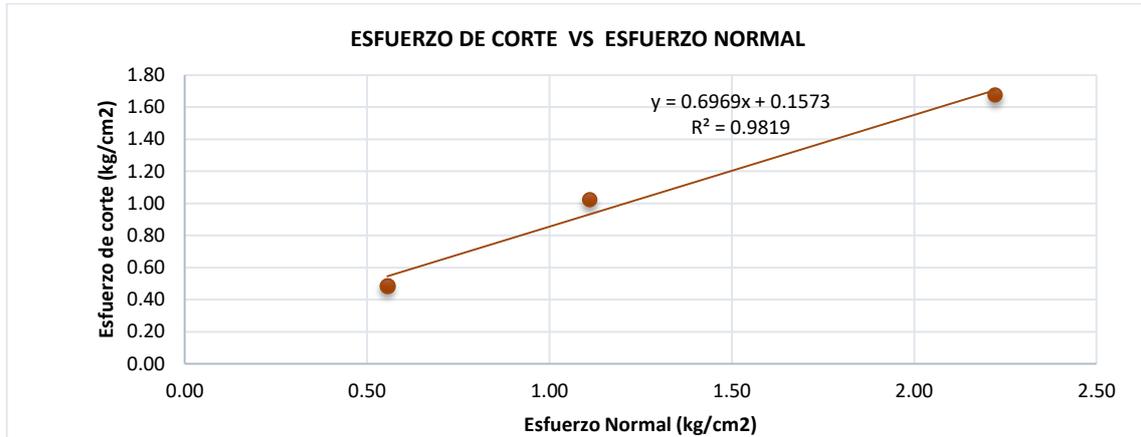
Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 38: Resultados del ensayo de corte directo C-01 + 2.5% Cemento tipo I.**

<b>Calicata : C-01</b>	<b>Profundidad:</b>	Cantera	<b>Velocidad :</b>	0.25 mm/min	
<b>Muestra:+2.5%cemento</b>	<b>Estado :</b>	Alterado	<b>Área :</b>	36 cm2	
<b>ESPÉCIMEN 01</b>		<b>ESPÉCIMEN 02</b>		<b>ESPÉCIMEN 03</b>	
Altura :	20.10 mm	Altura :	20.10 mm	Altura :	20.10 mm
Diámetro/L :	60.00 mm	Diámetro :	60.00 mm	Diámetro :	60.00 mm
<b>Esf. Normal :</b>	<b>0.56 kg/cm2</b>	<b>Esf. Normal :</b>	<b>1.11 kg/cm2</b>	<b>Esf. Normal :</b>	<b>2.22 kg/cm2</b>
<b>Esf. Corte :</b>	<b>0.48 kg/cm2</b>	<b>Esf. Corte :</b>	<b>1.02 kg/cm2</b>	<b>Esf. Corte :</b>	<b>1.68 kg/cm2</b>

Fuente: Elaboración propia.

**Gráfico 16: Esfuerzo normal vs. Esfuerzo cortante C-01 + 2.5% cemento tipo I.**



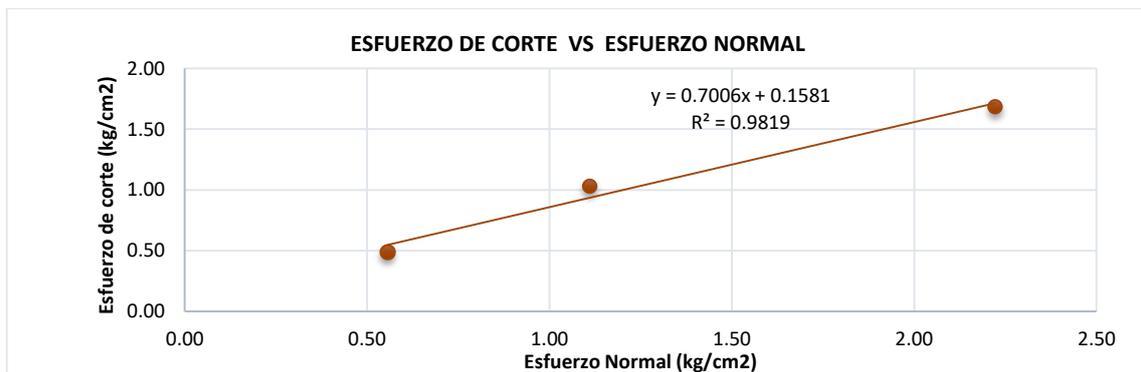
Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 39: Resultados del ensayo de corte directo C-01 + 3.0% Cemento tipo I.**

Calicata : C-01		Profundidad:		Cantera	Velocidad :		0.25 mm/min
Muestra:+3.0%cemento		Estado :		Alterado	Área :		36 cm²
ESPÉCIMEN 01			ESPÉCIMEN 02			ESPÉCIMEN 03	
Altura :	20.10	mm	Altura :	20.10	mm	Altura :	20.10
Diámetro/L :	60.00	mm	Diámetro :	60.00	mm	Diámetro :	60.00
Esf. Normal :	0.56	kg/cm²	Esf. Normal :	1.11	kg/cm²	Esf. Normal :	2.22
Esf. Corte :	0.49	kg/cm²	Esf. Corte :	1.03	kg/cm²	Esf. Corte :	1.68

Fuente: Elaboración propia.

**Gráfico 17: Esfuerzo normal vs. Esfuerzo cortante C-01+ 3.0% cemento tipo I.**



Fuente: Elaboración propia.

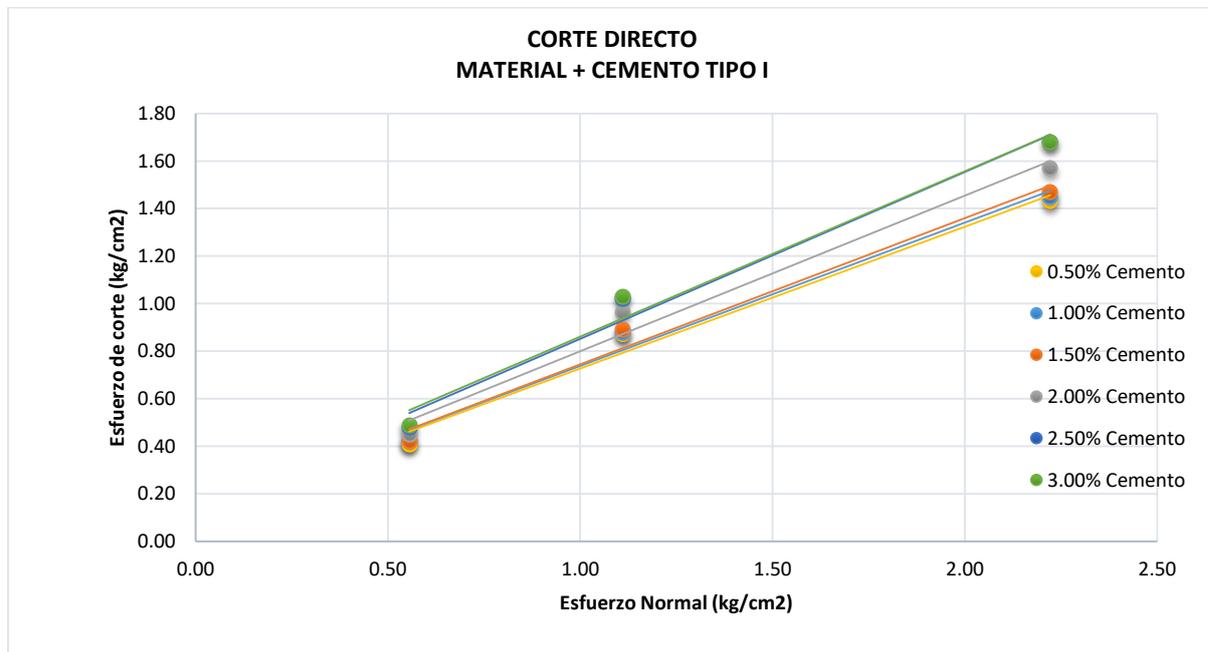
En la Tabla 40, se resumen los parámetros de resistencia obtenidos con el ensayo de corte con diferentes dosificaciones de cemento.

**Tabla 40: Resultados de los ensayos de corte directo con adiciones de cemento tipo I.**

Parámetros de resistencia con adiciones de cemento tipo I						
Calicata	C-1					
Espécimen	2kg	4kg	8kg			
<b>Esfuerzo Normal <math>\sigma_n</math> (kg/cm<sup>2</sup>)</b>	0.56	1.11	2.20			
Esfuerzo cortante $\tau$ (kg/cm <sup>2</sup> ) - cemento 0.5%	0.41	0.87	1.43			
Esfuerzo cortante $\tau$ (kg/cm <sup>2</sup> ) - cemento 1.0%	0.42	0.88	1.45			
Esfuerzo cortante $\tau$ (kg/cm <sup>2</sup> ) - cemento 1.5%	0.42	0.89	1.47			
Esfuerzo cortante $\tau$ (kg/cm <sup>2</sup> ) - cemento 2.0%	0.45	0.96	1.57			
Esfuerzo cortante $\tau$ (kg/cm <sup>2</sup> ) - cemento 2.5%	0.48	1.02	1.68			
Esfuerzo cortante $\tau$ (kg/cm <sup>2</sup> ) - cemento 3.0%	0.49	1.03	1.68			
RESUMEN DE PARÁMETROS DE RESISTENCIA						
% Adición de cemento	0.5%	1.0%	1.5%	2.0%	2.5%	3.0 %
<b>Cohesión C (kg/cm<sup>2</sup>)</b>	0.1344	0.1357	0.1377	0.1475	0.1573	0.1581
<b>Ángulo de fricción (<math>\phi^\circ</math>)</b>	30.77°	31.01°	31.37°	33.16°	34.87°	35.02°

Fuente: Elaboración propia.

**Gráfico 18: Corte directo del suelo + Cemento.**



Fuente: Elaboración propia.

#### 4.1.2.5. Evaluación y comparación de los esfuerzos de cizallamiento producidos por el vehículo con la máxima resistencia cortante del afirmado

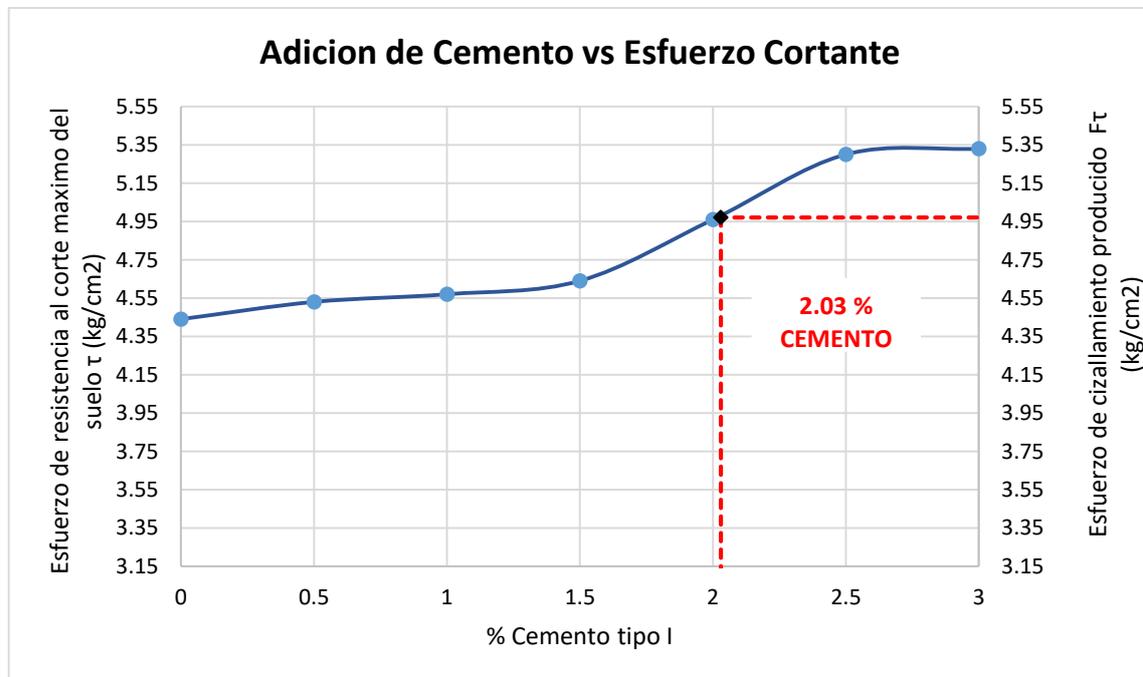
En la Tabla 41, se resumen los esfuerzos resistentes máximos, así como el esfuerzo de corte o cizallamiento producido por el vehículo ligero.

Tabla 41: Resultados de los ensayos de corte directo con adiciones de cemento tipo I.

Calicata Cantera	SUCS	% de Cemento	C (kg/cm <sup>2</sup> )	Ø (°)	σn=W/Ac (kg/cm <sup>2</sup> )	Esfuerzo de Resistencia al corte máxima $\tau = C + \sigma_n \cdot \text{tg}(\theta^\circ)$ (kg/cm <sup>2</sup> )	Esfuerzo de cizallamiento actuante $\tau$ act. pendiente > 5%	Esfuerzo de cizallamiento actuante $\tau$ act. Curva R < 20m
C-1	GC-GM	0.0%	0.1218	30.35	7.38	4.44	4.97	4.60
		0.5%	0.1344	30.77	7.38	4.53	4.97	4.60
		1.0%	0.1357	31.01	7.38	4.57	4.97	4.60
		1.5%	0.1377	31.37	7.38	4.64	4.97	4.60
		<b>2.0%</b>	<b>0.1475</b>	<b>33.16</b>	<b>7.38</b>	<b>4.96</b>	4.97	4.60
		<b>2.5%</b>	<b>0.1573</b>	<b>34.87</b>	<b>7.38</b>	<b>5.30</b>	4.97	4.60
		3.0%	0.1581	35.02	7.38	5.33	4.97	4.60

Fuente: Elaboración propia.

Gráfico 19: Esfuerzo cortante vs % Adición de Cemento tipo I.



Fuente: Elaboración propia.

#### 4.1.2.6. Evaluación de la capacidad de soporte del suelo con adiciones de cemento

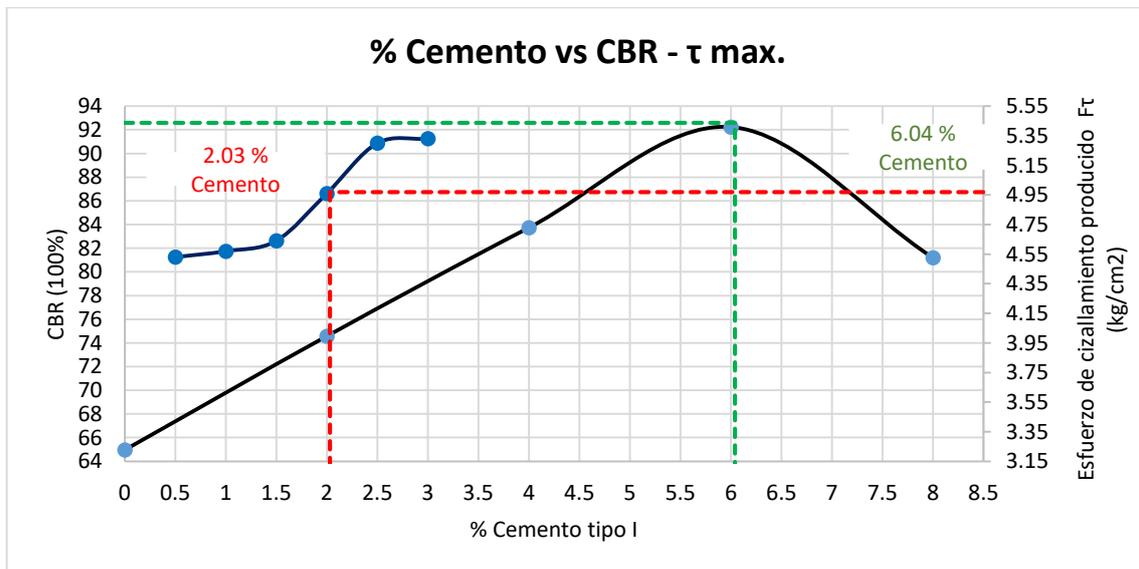
En la Tabla 42, se resumen los valores relativos de soporte CBR al 100% y 95% de la MDS, con porcentajes de 2%,4%, 6% y 8% de cemento tipo I.

Tabla 42: Resultados de los ensayos de CBR con adiciones de cemento tipo I.

Calicata Cantera	SUCS	% de Cemento	CBR 100%	CBR 95%
C-1	GC-GM	0.0%	64.96	38.24
		2.0%	74.57	38.70
		4.0%	83.73	40.70
		6.0%	92.24	42.20
		8.0%	81.20	41.30

Fuente: Elaboración propia.

Gráfico 20: % CBR vs % Cemento tipo I.



Fuente: Elaboración propia.

## 4.2. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

### 4.2.1. DISCUSIÓN 1:

El efecto de las dosificaciones de cal y cemento influyen positivamente, mediante el uso de adiciones de cal y cemento con dosificaciones de 0.5%, 1.0%, 1.5%, 2.0%,

2.5% y 3.0% del peso seco del suelo de afirmado, en la estabilización y mejoramiento a los esfuerzos de cizallamiento o de corte resistente en el suelo, llegando a obtener una dosis óptima que supere el esfuerzo actuante o producido en los sectores críticos como curva con radio menores a 20 m y pendientes mayores al 5%, de 2.35% de cal y cemento en 2.03% del peso seco del suelo de afirmado.

Los resultados de los ensayos de corte directo de los especímenes con la dosificación óptima de cal hidratada de 2.35% se llegó a incrementar en un promedio de 11.94% al esfuerzo resistente máximo sin adición y mediante la adición de cemento para llegar a incrementar los 11.94% al esfuerzo resistente máximo sin adición se necesitó la dosificación de 2.03% de cemento con respecto al peso seco del suelo.

Al respecto (Ovalle Cardenas, 2014), en el estudio de la “Estabilización química de los bordes de un terraplén erosionados por escorrentías”, encontró que para la estabilización del suelo analizado se utilizó adiciones de cemento y emulsión asfáltica en proporciones de 2%, 4% y 6%, para que así pueda comparar y seleccionar la mezcla que tenga el mejor desempeño de sus propiedades y que cumpla con las exigencias normativas vigentes en Chile. Llegando a observar que todas las propiedades fueron mejorando a medida que incrementaron las proporciones de cemento, llegando así a partir de 4% de cemento a cumplir con los objetivos de mejorar todas las propiedades del suelo. Concluyendo y recomendando estas adiciones para estabilizar los terraplenes, diferenciándose solo en su cantidad mínima, 4% de cemento y 2% de emulsión asfáltica.

En base a la información obtenida y los ensayos realizados, se concluye que el efecto de las adiciones de cal y cemento incrementan y estabilizan positivamente a los esfuerzos de cizallamiento que se puedan producir en los suelos a nivel de afirmado.

#### **4.2.2. DISCUSIÓN 2:**

El efecto de las dosificaciones de cal incide positivamente en la estabilización y mejoramiento a los esfuerzos de cizallamiento o de corte resistente en el suelo de afirmado. Llegando a observar que las propiedades de resistencia fueron mejorando a medida que incrementaron las proporciones de cal hidratada, en este caso dosificaciones de 0.5, 1.0%, 1.5%, 2.0%, 2.5% y 3.0%, llegando así a partir de

2.35% de cal a cumplir con los objetivos de superar el esfuerzo de cizallamiento actuante producidos por los vehículos en los sectores críticos como curvas con radio menores a 20m y en pendientes mayores al 5% que están expuestos a estos esfuerzos de cizallamiento o de corte.

Al respecto (Ovalle Cardenas, 2014), en el estudio de la “Estabilización química de los bordes de un terraplén erosionados por escorrentías”, encontró que para la estabilización del suelo analizado se utilizó adiciones de cemento y emulsión asfáltica en proporciones de 2%, 4% y 6%, para que así pueda comparar y seleccionar la mezcla que tenga el mejor desempeño de sus propiedades y que cumpla con las exigencias normativas vigentes en Chile.

Llegando a obtener y concluir que la estabilización con cemento se aumenta la cohesión y ángulo de fricción, los cuales son los parámetros de resistencia al corte, mediante el cual se llegó a obtener una dosificación optima del 4% de cemento, con la cual se logra desaparecer los problemas de cohesión y erosión.

#### **4.2.3. DISCUSIÓN 3:**

El efecto de las dosificaciones de cemento incide positivamente en la estabilización y mejoramiento a los esfuerzos de cizallamiento o de corte resistente en el suelo de afirmado. Llegando a observar que las propiedades de resistencia fueron mejorando a medida que incrementaron las proporciones de cemento tipo I, en este caso dosificaciones de 0.5, 1.0%, 1.5%, 2.0%, 2.5% y 3.0%, llegando así a partir de 2.03% de cemento a cumplir con los objetivos de superar el esfuerzo de cizallamiento actuante producidos por los vehículos en los sectores críticos como curvas con radio menores a 20m y en pendientes mayores al 5% que están expuestos a estos esfuerzos de cizallamiento o de corte.

Al respecto (Ovalle Cardenas, 2014), en el estudio de la “Estabilización química de los bordes de un terraplén erosionados por escorrentías”, encontró que para la estabilización del suelo analizado se utilizó adiciones de cemento y emulsión asfáltica en proporciones de 2%, 4% y 6%, para que así pueda comparar y seleccionar la mezcla que tenga el mejor desempeño de sus propiedades y que cumpla con las exigencias normativas vigentes en Chile.

Mediante el ensayo de corte directo se pudo observar que el material en estado natural sin adición de aditivos contaba con poca cohesión, lo cual fue revertido al

adicionar porcentajes de cemento, resultando cohesiones mayores aun con las adiciones mínimas de 0.5%.

Llegando a obtener y concluir que la estabilización con cemento se llega a aumentar la cohesión y ángulo de fricción, los cuales son los parámetros de resistencia al corte, mediante el cual se llegó a obtener una dosificación óptima del 4% de cemento, con la cual se logra desaparecer los problemas de cohesión y erosión.

#### **4.2.4. DISCUSIÓN 4:**

El efecto de las dosificaciones de cal y cemento también influyen en la estabilización y mejoramiento a la capacidad de soporte CBR en el suelo de afirmado. Llegando a observar que las propiedades de resistencia fueron mejorando a medida que incrementaron las proporciones de cal hidratada, en este caso dosificaciones de 2%, 4% y una disminución con 6% y 8%, llegando así a partir de 4.20% de cal a disminuir con las propiedades de capacidad de soporte del suelo de afirmado. Para el caso de proporciones de cemento, con dosificaciones de 2%, 4%, 6% se determinó que la propiedad de capacidad de soporte del suelo va en aumento, caso contrario con la dosis de 8% que se obtuvo un CBR bajo, llegando así a obtener una dosis de 6.04% de cemento con lo cual su resistencia portante es máxima.

Al respecto (Ovalle Cardenas, 2014), en el estudio de la “Estabilización química de los bordes de un terraplén erosionados por escorrentías”, encontró que para la estabilización del suelo analizado se utilizó adiciones de cemento y emulsión asfáltica en proporciones de 2%, 4% y 6%, para que así pueda comparar y seleccionar la mezcla que tenga el mejor desempeño de sus propiedades y que cumpla con las exigencias normativas vigentes en Chile.

Llegando a obtener con el ensayo de CBR un incremento de la capacidad de soporte con la estabilización con cemento, pero que disminuyó al ser estabilizado con emulsión asfáltica, sin comprometer su calidad.

## CONCLUSIONES

1. El efecto de las dosificaciones de cal y cemento influyen positivamente, mediante el uso de adiciones de cal y cemento con dosificaciones de 0.5%, 1.0%, 1.5%, 2.0%, 2.5% y 3.0% del peso seco del suelo para afirmado, en la estabilización y mejoramiento a los esfuerzos de cizallamiento o de corte resistente en el suelo, llegando a obtener una dosis óptima que es superior al esfuerzo actuante o producido en los sectores críticos como curvas con radio menores a 20 m y pendientes mayores al 5% siendo en 2.35% de cal y cemento en 2.03% del peso seco del suelo para afirmado. Los resultados de los ensayos de corte directo de los especímenes con la dosificación óptima de cal hidratada de 2.35% llegó a incrementar en un promedio de 11.94% al esfuerzo resistente máximo sin adición, y mediante la adición de cemento para llegar a incrementar los 11.94% al esfuerzo resistente máximo sin adición se necesitó la dosificación de 2.03% de cemento con respecto al peso seco del suelo. En base a la información obtenida de los ensayos realizados se concluye que el efecto de las adiciones de cal y cemento, incrementan y estabilizan positivamente a los esfuerzos de cizallamiento que se puedan producir en los suelos a nivel de afirmado.
2. El efecto de las dosificaciones de cal incide positivamente en la estabilización y mejoramiento a los esfuerzos de cizallamiento o de corte resistente en el suelo de afirmado. Llegando a observar que las propiedades de resistencia fueron mejorando a medida que incrementaron las proporciones de cal hidratada, en este caso dosificaciones de 0.5, 1.0%, 1.5%, 2.0%, 2.5% y 3.0%, llegando así a partir de 2.35% de cal a cumplir con los objetivos de superar el esfuerzo de cizallamiento actuante producidos por los vehículos en los sectores críticos como curvas con radio menores a 20m y en pendientes mayores al 5% que están expuestos a estos esfuerzos de cizallamiento o de corte. Con lo cual se concluye que con la estabilización con cal se llega a incrementar positivamente los parámetros de resistencia como cohesión y ángulo de fricción, los cuales son los parámetros de resistencia al corte, ya que estas definen las resistencias a los esfuerzos de cizallamiento o de corte de un suelo.
3. El efecto de las dosificaciones de cemento incide positivamente en la estabilización y mejoramiento a los esfuerzos de cizallamiento o de corte resistente en el suelo de afirmado. Llegando a observar que las propiedades de resistencia fueron mejorando a medida que incrementaron las proporciones de cemento tipo I, en este caso dosificaciones de 0.5, 1.0%, 1.5%, 2.0%, 2.5% y 3.0%, llegando así a partir de 2.03%

de cemento a cumplir con los objetivos de superar el esfuerzo de cizallamiento actuante producidos por los vehículos en los sectores críticos como curvas con radio menores a 20m y en pendientes mayores al 5% que están expuestos a estos esfuerzos de cizallamiento o de corte. Con lo cual se concluye que con la estabilización con cemento se llega a incrementar considerablemente los parámetros de resistencia como cohesión y ángulo de fricción, los cuales son los parámetros de resistencia al corte, ya que estas definen las resistencias a los esfuerzos de cizallamiento o de corte de un suelo.

4. El efecto de las dosificaciones de cal y cemento también influyen en la estabilización y mejoramiento a la capacidad de soporte CBR en el suelo de afirmado. Llegando a observar que las propiedades de resistencia fueron mejorando a medida que incrementaron las proporciones de cal hidratada, en este caso dosificaciones de 2%, 4% y una disminución con 6% y 8%, llegando así a partir de 4.20% de cal a disminuir con las propiedades de capacidad de soporte del suelo de afirmado. Para el caso de proporciones de cemento, con dosificaciones de 2%, 4%, 6% se determinó que la propiedad de capacidad de soporte del suelo va en aumento, caso contrario con la dosis de 8% que se obtuvo un CBR bajo, llegando así a obtener una dosis de 6.04% de cemento con lo cual su resistencia portante es máxima.

## RECOMENDACIONES

1. Tener en cuenta la experimentación con otros aditivos para estabilizar mejor el suelo frente a los esfuerzos de cizallamiento; así mismo, obtener el mejor comportamiento y la dosis óptima, con lo cual se analizaría el costo-beneficio en la ejecución de un proyecto.
2. Realizar más ensayos con mayores dosificaciones de cal hidratada, con lo cual se podría determinar la dosis última que se alcanza en un suelo, con un esfuerzo de corte máxima última, que es cuando los parámetros de resistencia llegan a ser constantes o no varían con dosificaciones mayores a la dosis máxima.
3. Así mismo, para el aditivo de cemento, sería complementario experimentar con mayores dosificaciones de cemento tipo I con lo cual se podría determinar la dosis última que se alcanza en un suelo con un esfuerzo de corte máxima última, que es cuando los parámetros de resistencia llegan a ser constantes o no varían con dosificaciones mayores a la dosis máxima.
4. Para la estabilización e incremento de la capacidad de soporte o portante del suelo, se recomienda adiciones como cal y cemento, pero en esta investigación no es necesaria porque el material de afirmado sin adiciones tiene buena capacidad de soporte (CBR > 50%).

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alva Hurtado, Jorge. 2011.** Diseño de cimentaciones. Lima-Peru : Instituto de la Construcción y Gerencia, 2011.
- Álvarez, Jaime Núñez. 2014.** Fallas presentadas en la construcción de carreteras asfaltadas. Lima : s.n., 2014.
- ARIAS, FIDIAS G. 2006.** El proyecto de investigación. Caracas : s.n., 2006.
- Arriaga Vazquez, Darío. 2006.** Aspectos constructivos de la técnica de compactación dinámica para mejoramiento masivo de suelos. Mexico : s.n., 2006.
- Bahamondez Ortiz, Juan Sebastián. 2010.** Implementación del equipo de corte directo y su aplicación en algunos suelos típicos de punta arenas. Chile : s.n., 2010.
- Bañon, Blazquez Luis y Bevia Garcia, Jose. 2012.** Manual de Carreteras. Lima : s.n., 2012. pág. 328. Vol. II.
- Borja S., Manuel. 2012.** Metodología de la investigación para ingenieros. Chiclayo : s.n., 2012.
- Braja Das, M. 2008.** Fundamentos de ingeniería geotécnica. 2008.
- Ccanto Mallma, Germán. 2010.** Metodología de la investigación científica en ingeniería civil - ingeniería de transportes. 3ra. ed. 2010. 0260-89-330-0.
- Chillihuani Chillihuani, Virgilio. 2017.** Diseño e implementación de un equipo de corte directo para suelos gravosos y su aplicación en suelos típicos de Cusco. Cusco : s.n., 2017.
- DE LA CRUZ GUTIERREZ, Lizeth Mercedes y SALCEDO ROJAS, Kaite Karen. 2016.** Estabilización de suelos cohesivos por medio de aditivos (eco road 2000) para pavimentación Palian - Huancayo - Junín. huancayo : s.n., 2016.
- Gonzales Castro, ABEL, y otros. 2011.** ¿Cómo aprender y enseñar investigación científica? Huancavelica : s.n., 2011.
- Hernandez Sampieri, Roberto, Fernandez Collado, Carlos y Baptista Lucio, Pilar. 2010.** Metodología de la investigación. 5ta ed. Mexico D.F. : McGRAW-HILL, 2010. 978-607-15-0291-9.
- Hernandez - Sampieri y Mendoza. 2018.** Metodología investigación. Mexico : s.n., 2018.
- Instituto Español del Cemento y sus Aplicaciones. 2003.** Manual de estabilización de suelos con cemento o cal. Madrid : IECA, 2003.
- Jairon, RÓLDAN DE PAZ. 2010.** Estabilización de suelos con cloruro de sodio (nacl) para bases y sub bases . Guatemala : s.n., 2010.
- Jofre I., C., Atienza, M. y Kraemer, C. 2008.** Instituto Español del cemento y sus aplicaciones - Manual de estabilización de suelos con cemento o cal. Madrid : IECA, 2008.
- MANUAL DE CARRETERAS, MTC. 2013.** Especificaciones técnicas generales para la construcción. Lima, Perú : s.n., 2013.
- Ministerio de Transporte y Comunicaciones. 2013.** Manual de ensayos . Lima : s.n., 2013.
- Mozota Azcutia, Adolfo. 2014.** Gestión Técnica del Tráfico. 2014.
- Muñoz Gracia, Francisco. 1974.** Cálculo teórico-práctico de los elementos y grupos del vehículo industrial y automóvil. Madrid : Editorial: Dossat, 1974. Vols. tomo I - II. 8423704246.

**NEVILLE, ADAM N. 2013.** Tecnologia del concreto. instituto mexicano del cemento y del concreto a.c : s.n., 2013.

**NTP 339.129, Norma Tecnica Peruana. 2006.** Suelos. Metodo de ensayo para determinar el limite liquido, limite plastico e indice de plasticidad de suelos. Lima : Indecopi, 2006.

**Ovalle Cardenas, Eladio Fernando. 2014.** Estabilizacion quimica de los bordes de un terraplen erosionados por escorrentias. Valdivia-Chile : s.n., 2014.

**Ramirez Morales, Jenifer. 2017.** Estudio de la dinamica de traccion de un vehiculo electrico. Colombia : s.n., 2017.

**Rodas Jaramillo, René Patricio y Torres Lazo, María Augusta. 2015.** Estudio de las envolventes consolidada - drenada mediante ensayos de corte directo para el analisis de estabilidad de las presas de tierra del proyecto pacalori. Cuenca : s.n., 2015.

**Sarria Menchaca, Iñigo. 2017.** Calculo y diseño de la transmision de un automovil. España : s.n., 2017.

**Tomas Jover, Roberto, Bañon Blazquez, Luis y Ferreiro Prieto, Juan Ignacio.** La estabilidad del vehiculo en las curvas: Aspectos geometricos y su influencia en el coeficiente de seguridad. España : s.n.

## **ANEXOS**

## ANEXO 1: PANEL FOTOGRÁFICO

### ANEXO 1.1: IDENTIFICACIÓN DE LOS SECTORES CRÍTICOS EXPUESTOS A CIZALLAMIENTO UNIDIRECCIONAL.

Figura 39: Sectores críticos identificados: curvas (radio  $< 20\text{m}$ ) y pendientes mayores ( $P > 5\%$ )



Fuente: Elaboración propia.

**ANEXO 1.2: IDENTIFICACIÓN DE LOS PUNTOS DE MUESTREO.**

**Figura 40: Toma de muestras de las canteras Carhuapaccha (km 04+460) y de la cantera Socos (km 08+440).**



**Fuente: Elaboración propia.**

### ANEXO 1.3: ENSAYOS DE CONTENIDO DE HUMEDAD (NTP 339.127-MTC E 108)

Figura 41: Determinación del contenido de humedad natural de las muestras.



Fuente: Elaboración propia.

### ANEXO 1.4: ENSAYOS DE GRANULOMETRÍA POR TAMIZADO (NTP 339.128-MTC E 107)

Figura 42: Análisis granulométrico por tamizado de las muestras.



Fuente: Elaboración propia.

**ANEXO 1.5: ENSAYOS DE LÍMITES DE CONSISTENCIA (NTP 339.129-MTC E110-E111)**

**Figura 43: Ensayos de límite líquido.**



Fuente: Elaboración propia.

**Figura 44: Ensayos de límite plástico.**



Fuente: Elaboración propia.

## ANEXO 1.6: ENSAYOS DE CORTE DIRECTO (NTP 339.171 - MTC E 123)

Figura 45: Preparación de especímenes para el ensayo de corte directo-sin adición.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 46: Preparación de especímenes para el ensayo de corte directo +% cal.



Fuente: Elaboración propia.

**Figura 47: Preparación de especímenes para el ensayo de corte directo +% cemento.**



**Fuente: Elaboración propia.**

**Figura 48: Preparación de la caja de corte para realizar el ensayo de corte directo.**



**Fuente: Elaboración propia.**

**Figura 49: Muestras ensayadas con el equipo de corte directo.**



**Fuente: Elaboración propia.**

## ANEXO 2: CERTIFICADOS DE LOS ENSAYOS REALIZADOS

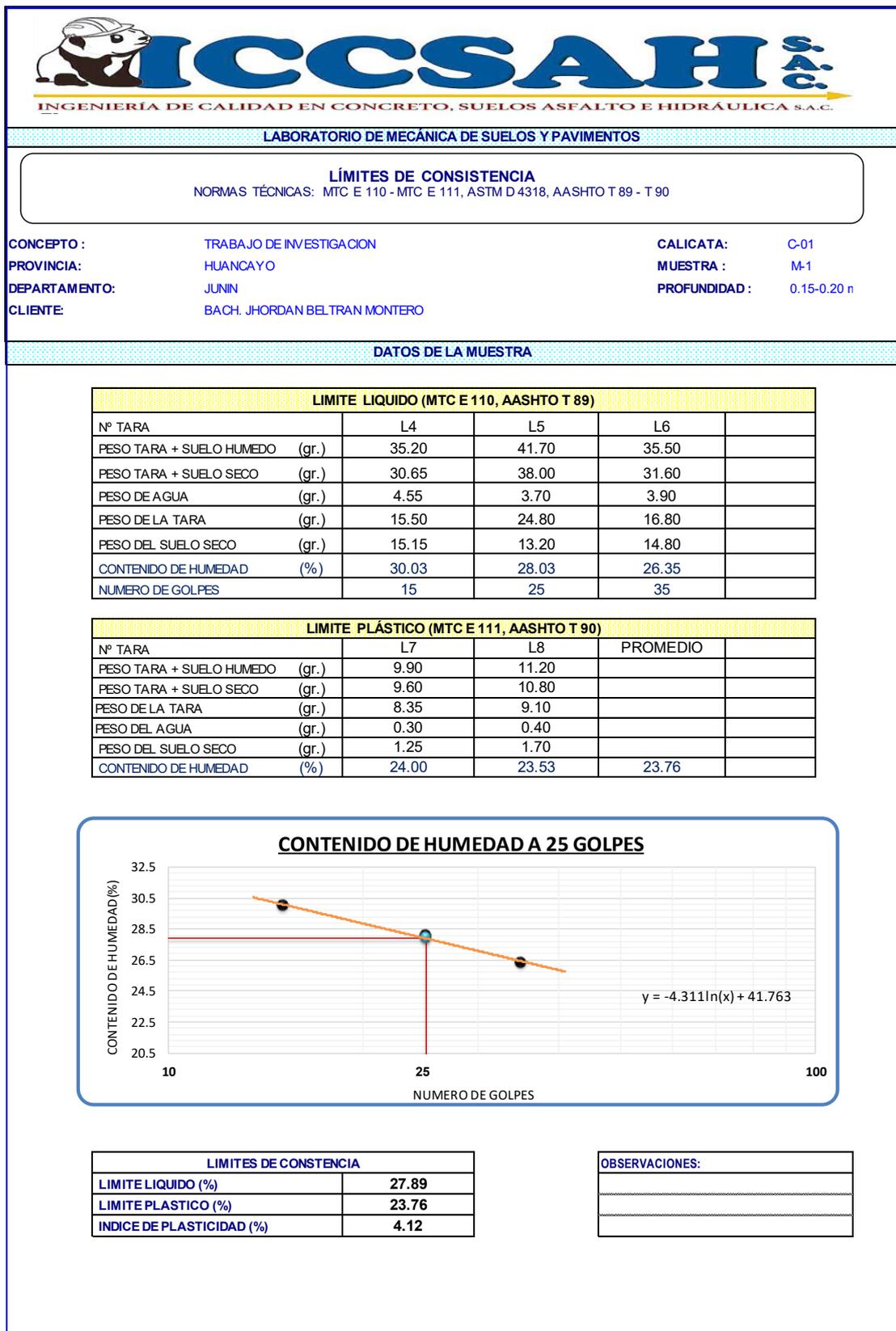
### ANEXO 2.1: CERTIFICADOS DE ENSAYOS DE LA MUESTRA SIN ADICIÓN

Figura 50: Ensayo de contenido de humedad sin adición (Muestra C-1).

			
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y PAVIMENTOS			
DETERMINACIÓN DE HUMEDAD NATURAL NORMAS TÉCNICAS: MTC E 108, ASTM D 2216			
CONCEPTO :	TRABAJO DE INVESTIGACION	CALICATA:	C-01
PROVINCIA:	HUANCAYO	MUESTRA :	M-1
DEPARTAMENTO:	JUNIN	PROFUNDIDAD :	0.15-0.20 m
CLIENTE:	BACH. JHORDAN BELTRAN MONTERO		
DATOS DE LA MUESTRA			
ENSAYO N°	1	2	3
Nro. DE TARA	1	2	3
PESO TARA + SUELO HUMEDO gr.	1301.50	1121.10	895.80
PESO TARA + SUELO SECO gr.	1261.10	1088.10	871.10
PESO DE LA TARA gr.	255.50	255.50	255.50
PESO DEL AGUA gr.	40.40	33.00	24.70
PESO SUELO SECO gr.	1005.60	832.60	615.60
HUMEDAD %	4.02	3.96	4.01
<b>HUMEDAD NATURAL PROMEDIO %</b>	<b>4.00</b>		
Observaciones:	- Material de afirmado		

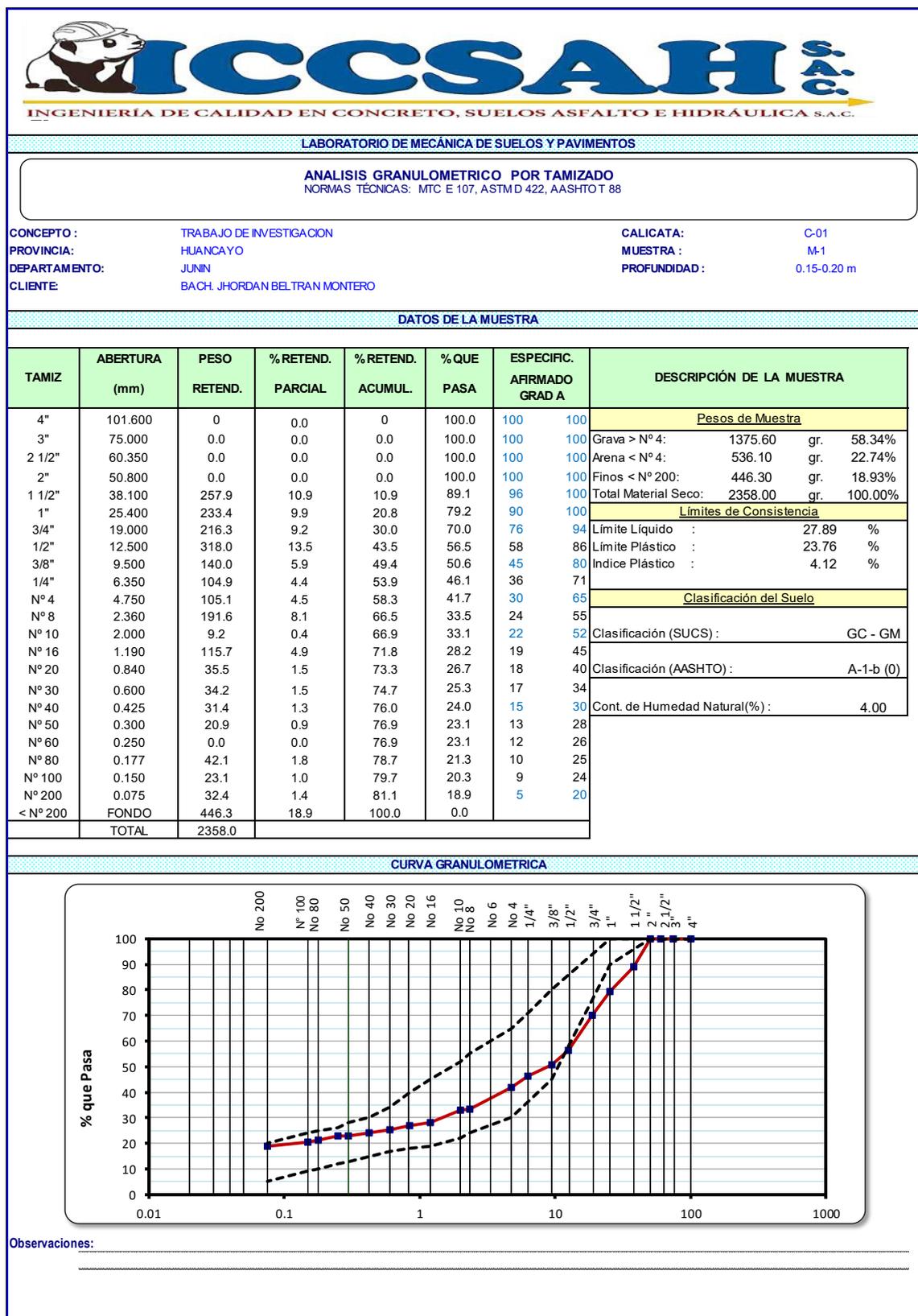
Fuente: ICCSAH SAC.

Figura 51: Ensayo de límites de consistencia sin adición (Muestra C-1).



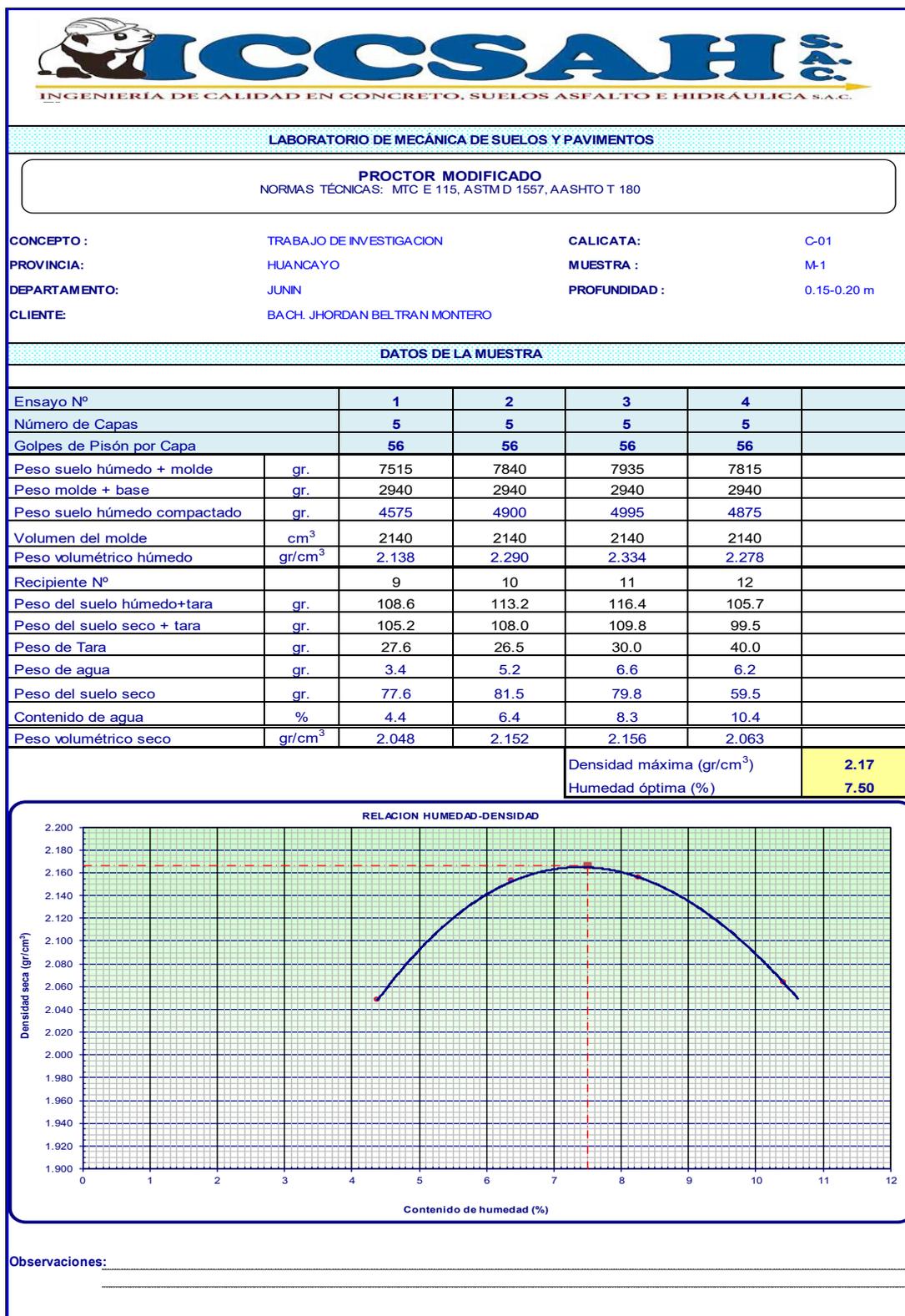
Fuente: ICCSAH SAC.

Figura 52: Ensayo de granulometría por tamizado sin adición (Muestra C-1).



Fuente: ICCSAH SAC.

Figura 53: Ensayo de Proctor Modificado sin adición (Muestra C-1).



Fuente: ICCSAH SAC.

Figura 54: Ensayo de Relación de Soporte de California CBR sin adición (Muestra C-1).



**INGENIERÍA DE CALIDAD EN CONCRETO, SUELOS ASFALTO E HIDRÁULICA S.A.C.**

---

**LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y PAVIMENTOS**

---

**RELACIÓN SOPORTE DE CALIFORNIA (C.B.R)**  
 NORMAS TÉCNICAS: MTC E 132, ASTM D 1883, AASHTO T 193

---

CONCEPTO :	TRABAJO DE INVESTIGACION	CALICATA:	C-01
PROVINCIA:	HUANCAYO	MUESTRA :	M-1
DEPARTAMENTO:	JUNIN	PROFUNDIDAD :	0.15-0.20 m
CLIENTE:	BACH. JHORDAN BELTRAN MONTERO		

---

**DATOS DE LA MUESTRA**

---

**COMPACTACIÓN**

Molde N°	5		6		7	
Capas N°	5		5		5	
Golpes por capa N°	10		25		56	
Condición de la muestra	SATURADO	NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO	SATURADO	NOSATURADO
Peso de molde + Suelo húmedo (g)	13150		12034		13274	
Peso de molde + base (g)	8642		7297		8316	
Peso del suelo húmedo (g)	4508		4737		4958	
Volumen del molde (cm <sup>3</sup> )	2124		2124		2124	
Densidad húmeda (g/cm <sup>3</sup> )	2.123		2.231		2.335	
Tara (N°)	T11		T12		T13	
Peso suelo húmedo + tara (g)	140.0		220.6		208.9	
Peso suelo seco + tara (g)	132.6		210.4		198.9	
Peso de tara (g)	34.0		67.6		67.6	
Peso de agua (g)	7.4		10.2		10.0	
Peso de suelo seco (g)	98.6		142.8		131.3	
Contenido de humedad (%)	7.51		7.14		7.62	
Densidad seca (g/cm <sup>3</sup> )	1.975		2.082		2.170	

---

**PENETRACIÓN**

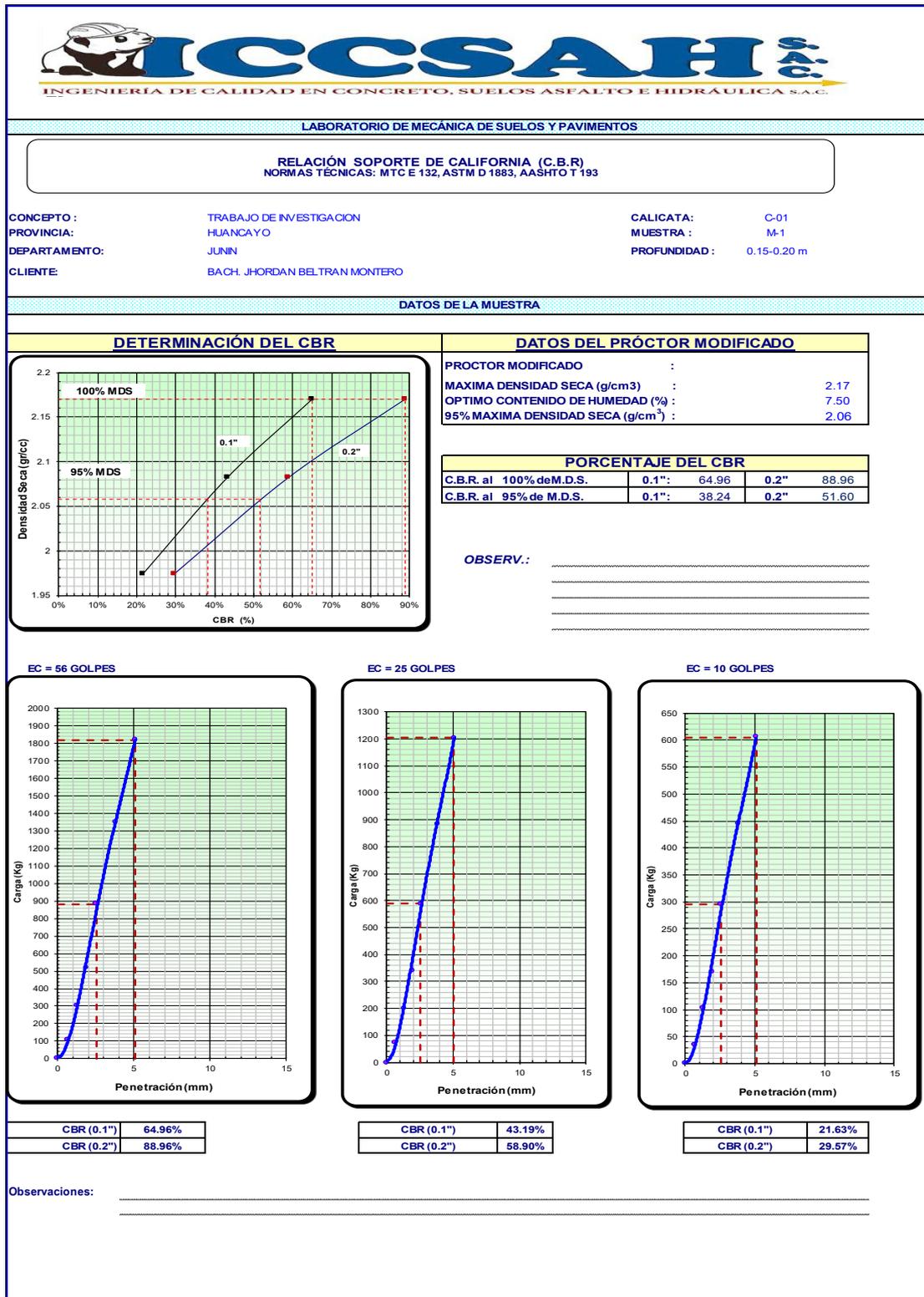
PENETRACION mm	CARGA STAND. kg/cm <sup>2</sup>	MOLDE N° 10 G				MOLDE N° 25 G				MOLDE N° 56 G			
		CARGA		CORRECCION		CARGA		CORRECCION		CARGA		CORRECCION	
		Dial (div)	kg	kg	%	Dial (div)	kg	kg	%	Dial (div)	kg	kg	%
0.000			0			0				0			
0.635			34			75				105			
1.270			102			201				300			
1.905			170			341				520			
2.540	70.5		295	295.0	21.6	589	589.0	43.2		886	885.8	64.96	
3.810			445			885				1350			
5.080	105.7		605	605.0	29.6	1205	1205.0	58.9		1820	1820.0	89.0	

---

Observaciones: \_\_\_\_\_

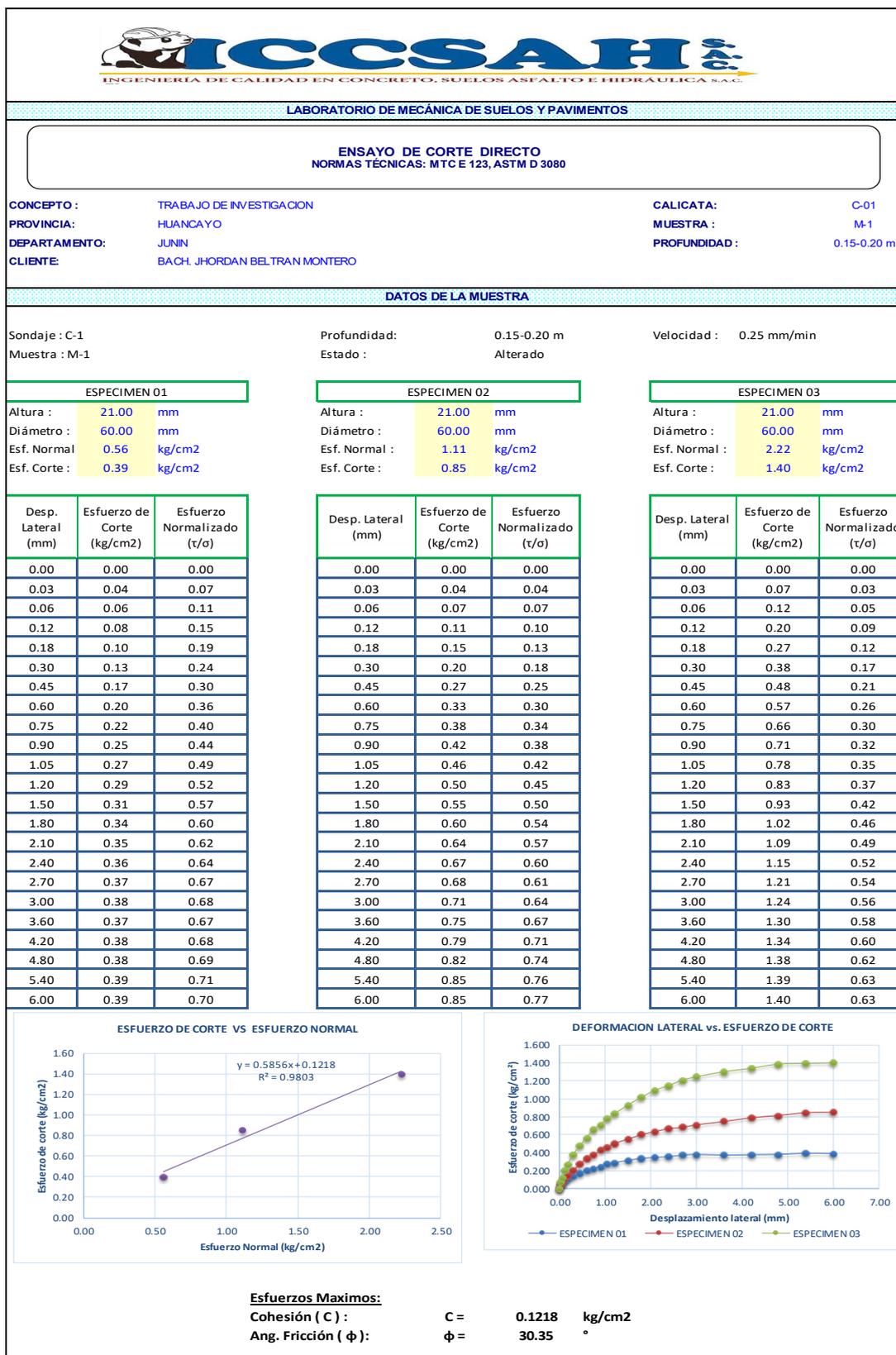
Fuente: ICCSAH SAC.

Figura 55: Ensayo de Relación de Soporte de California CBR sin adición (Muestra C-1).



Fuente: ICCSAH SAC.

Figura 56: Ensayo de Corte Directo sin adición (Muestra C-1).



Fuente: ICCSAH SAC.

Figura 57: Ensayo de contenido de humedad sin adición (Muestra C-2).



**LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y PAVIMENTOS**

**DETERMINACIÓN DE HUMEDAD NATURAL**  
 NORMAS TÉCNICAS: MTC E 108, ASTM D 2216

<b>CONCEPTO :</b> TRABAJO DE INVESTIGACION	<b>CALICATA:</b> C-02
<b>PROVINCIA:</b> HUANCAYO	<b>MUESTRA :</b> M-1
<b>DEPARTAMENTO:</b> JUNIN	<b>PROFUNDIDAD :</b> 0.15-0.20 m
<b>CLIENTE:</b> BACH. JHORDAN BELTRAN MONTERO	

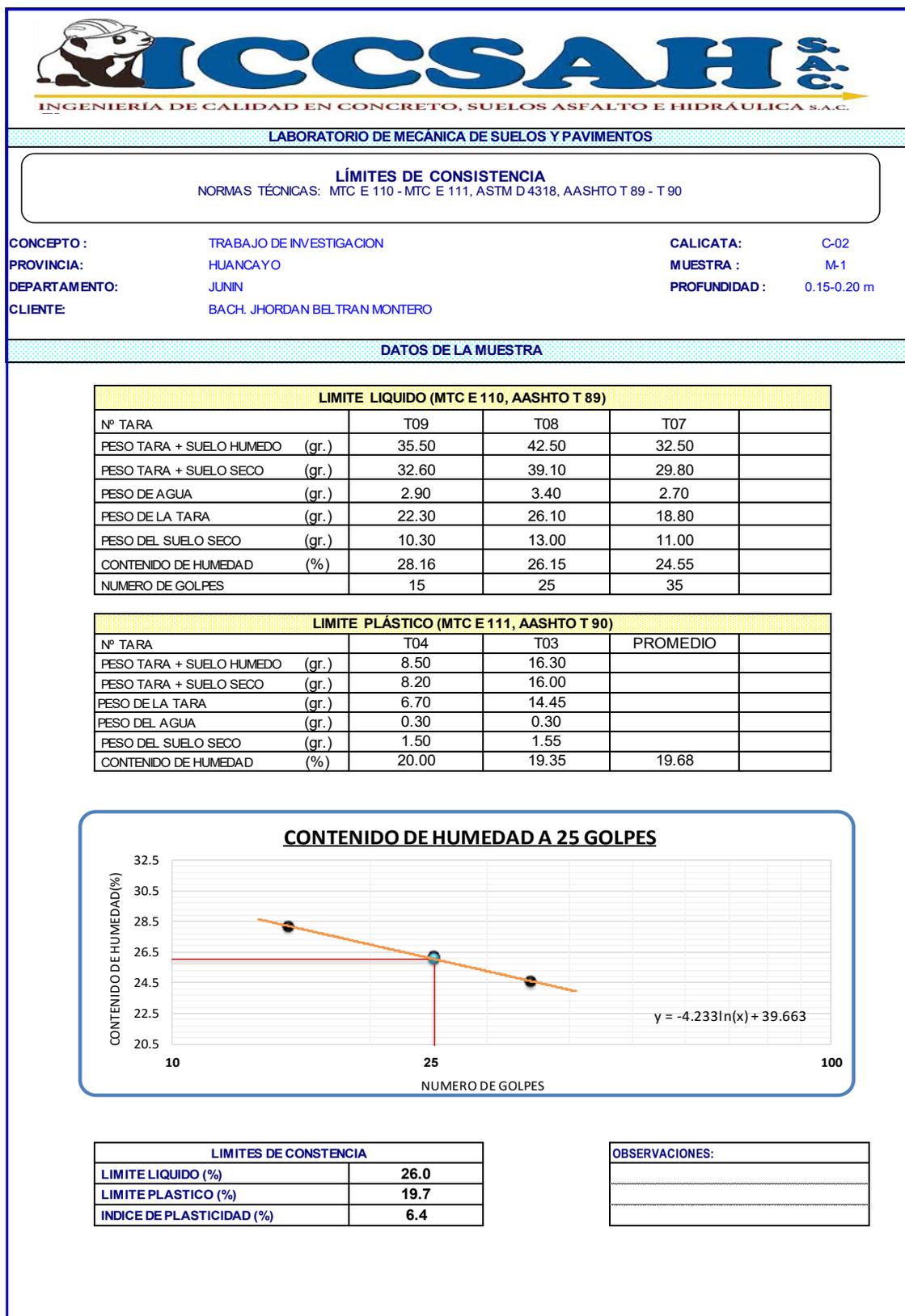
**DATOS DE LA MUESTRA**

ENSAYO N°	1	2	3
Nro. DE TARA	4	5	6
PESO TARA + SUELO HUMEDO gr.	1208.40	987.50	1035.40
PESO TARA + SUELO SECO gr.	1163.10	952.50	998.40
PESO DE LA TARA gr.	255.50	255.50	255.50
PESO DEL AGUA gr.	45.30	35.00	37.00
PESO SUELO SECO gr.	907.60	697.00	742.90
HUMEDAD %	4.99	5.02	4.98
<b>HUMEDAD NATURAL PROMEDIO %</b>	<b>5.00</b>		

**Observaciones:** Material de afirmado

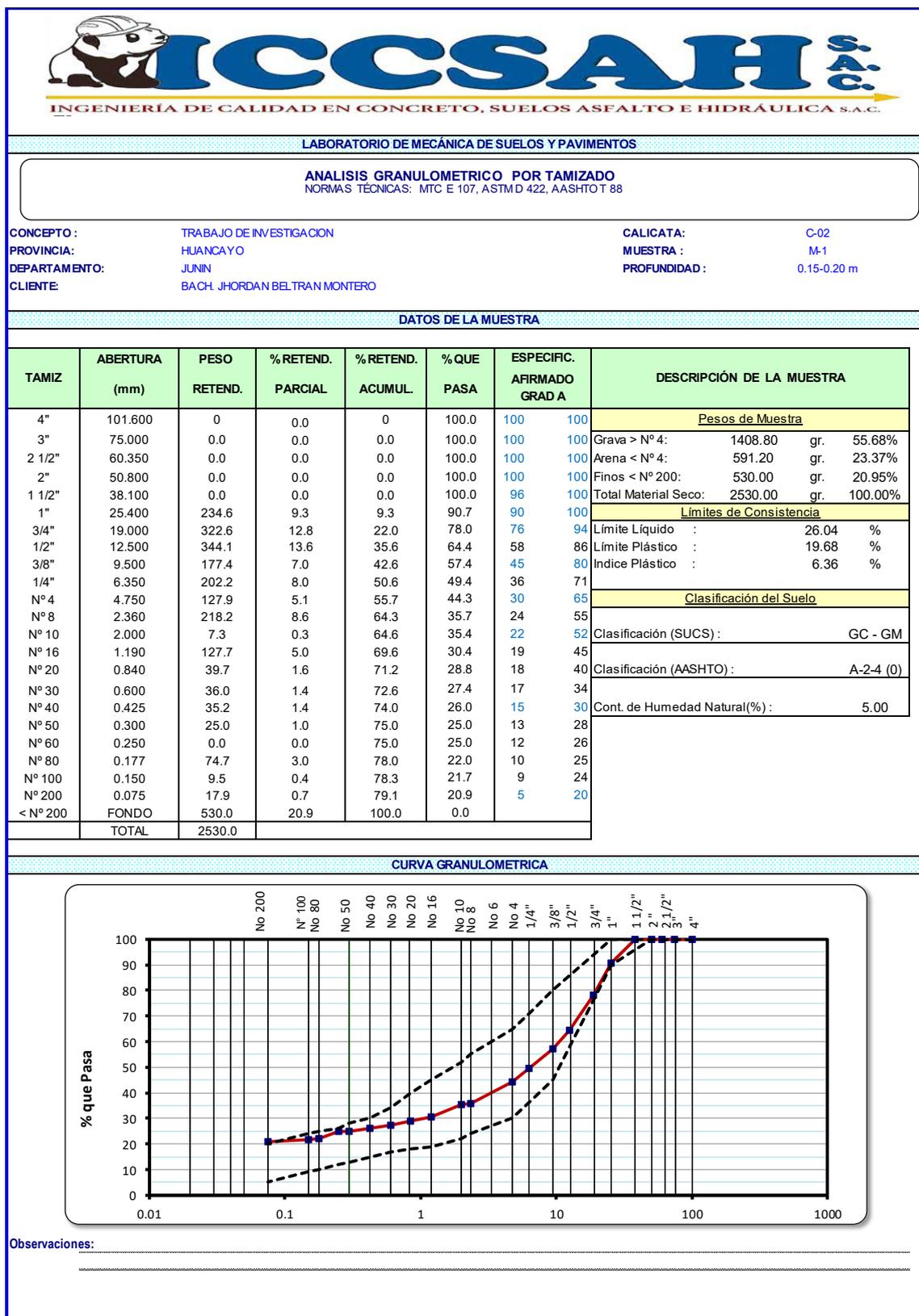
Fuente: ICCSAH SAC.

Figura 58: Ensayo de límites de consistencia sin adición (Muestra C-2).



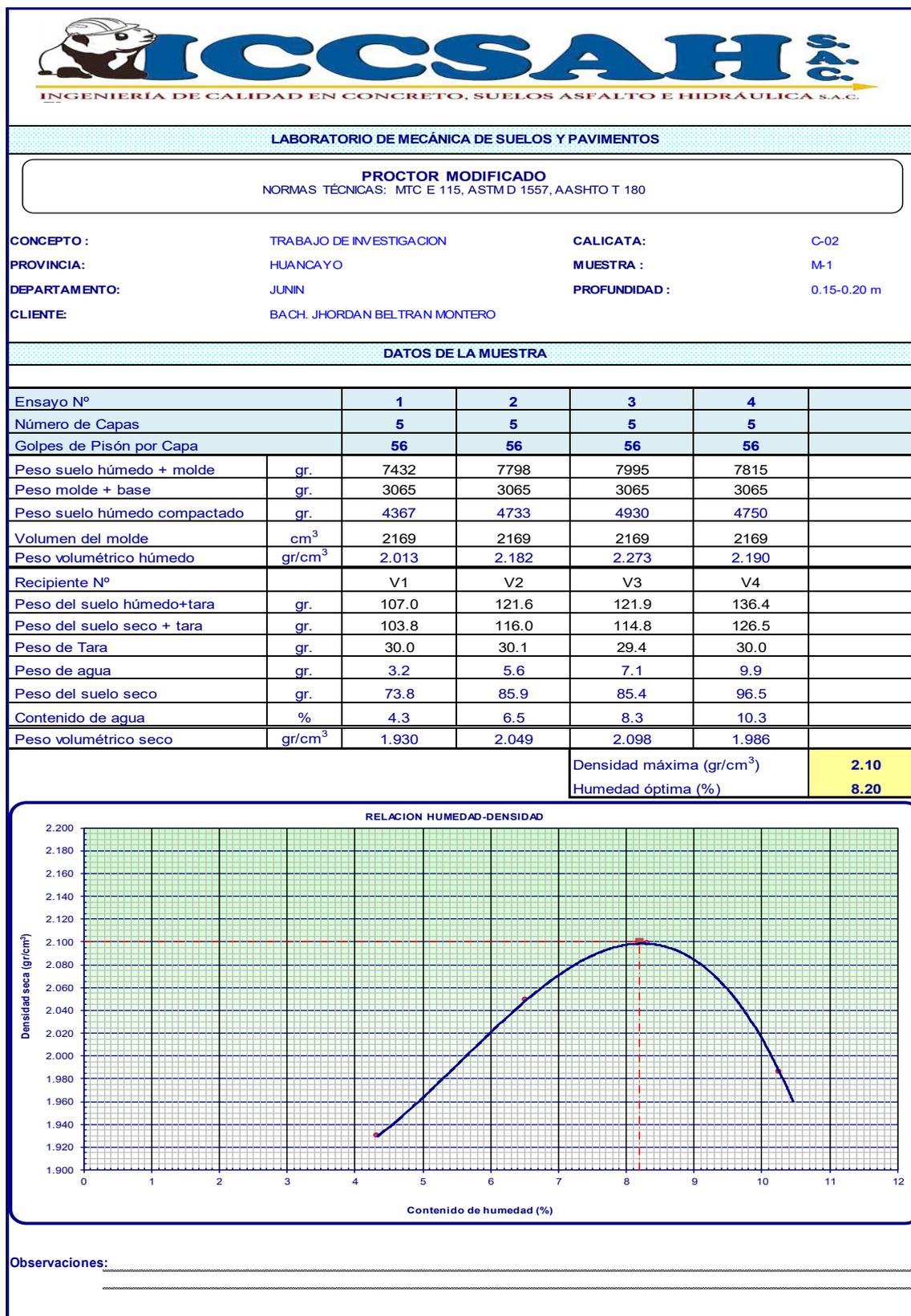
Fuente: ICCSAH SAC.

Figura 59: Ensayo de granulometría por tamizado sin adición (Muestra C-2).



Fuente: ICCSAH SAC.

Figura 60: Ensayo de Proctor Modificado sin adición (Muestra C-2).



Fuente: ICCSAH SAC.

Figura 61: Ensayo de Relación de Soporte de California CBR sin adición (Muestra C-2).



**ICCSAH SAC**  
INGENIERÍA DE CALIDAD EN CONCRETO, SUELOS ASFALTO E HIDRÁULICA S.A.C.

---

**LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y PAVIMENTOS**

---

**RELACIÓN SOPORTE DE CALIFORNIA (C.B.R)**  
NORMAS TÉCNICAS: MTC E 132, ASTM D 1883, AASHTO T 193

---

CONCEPTO :	TRABAJO DE INVESTIGACION	CALICATA:	C-02
PROVINCIA:	HUANCAYO	MUESTRA :	M-2
DEPARTAMENTO:	JUNIN	PROFUNDIDAD :	0.15-0.20 m
CLIENTE:	BACH. JHORDAN BELTRAN MONTERO		

---

**DATOS DE LA MUESTRA**

---

**COMPACTACIÓN**

	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>
Molde N°	5	6	7
Capas N°	5	5	5
Golpes por capa N°	10	25	56
Condición de la muestra	<b>SATURADO</b>	<b>NO SATURADO</b>	<b>SATURADO</b>
Peso de molde + Suelo húmedo (g)	13020	11910	13116
Peso de molde + base (g)	8642	7297	8316
Peso del suelo húmedo (g)	4378	4613	4800
Volumen del molde (cm <sup>3</sup> )	2124	2124	2124
Densidad húmeda (g/cm <sup>3</sup> )	2.062	2.172	2.260
Tara (N°)	T03	T04	T05
Peso suelo húmedo + tara (g)	170.0	210.2	208.9
Peso suelo seco + tara (g)	159.7	199.3	198.9
Peso de tara (g)	34.0	67.6	67.6
Peso de agua (g)	10.3	10.9	10.0
Peso de suelo seco (g)	125.7	131.7	131.3
Contenido de humedad (%)	8.19	8.28	7.62
Densidad seca (g/cm <sup>3</sup> )	1.906	2.006	2.100

---

**PENETRACION**

PENETRACION mm	CARGA STAND. kg/cm <sup>2</sup>	MOLDE N° 10 G			MOLDE N° 25 G				MOLDE N° 56 G				
		CARGA		CORRECCION	CARGA		CORRECCION		CARGA		CORRECCION		
		Dial (div)	kg	kg	Dial (div)	kg	kg	%	Dial (div)	kg	kg	%	
0.000			0			0				0			
0.635			35			72				108			
1.270			94			185				285			
1.905			165			325				500			
2.540	70.5		248	248.0	18.2		500	500.0	36.7		755	754.6	55.34
3.810			330				655			1000			
5.080	105.7		440	440.0	21.5		885	885.0	43.3		1335	1335.0	65.3

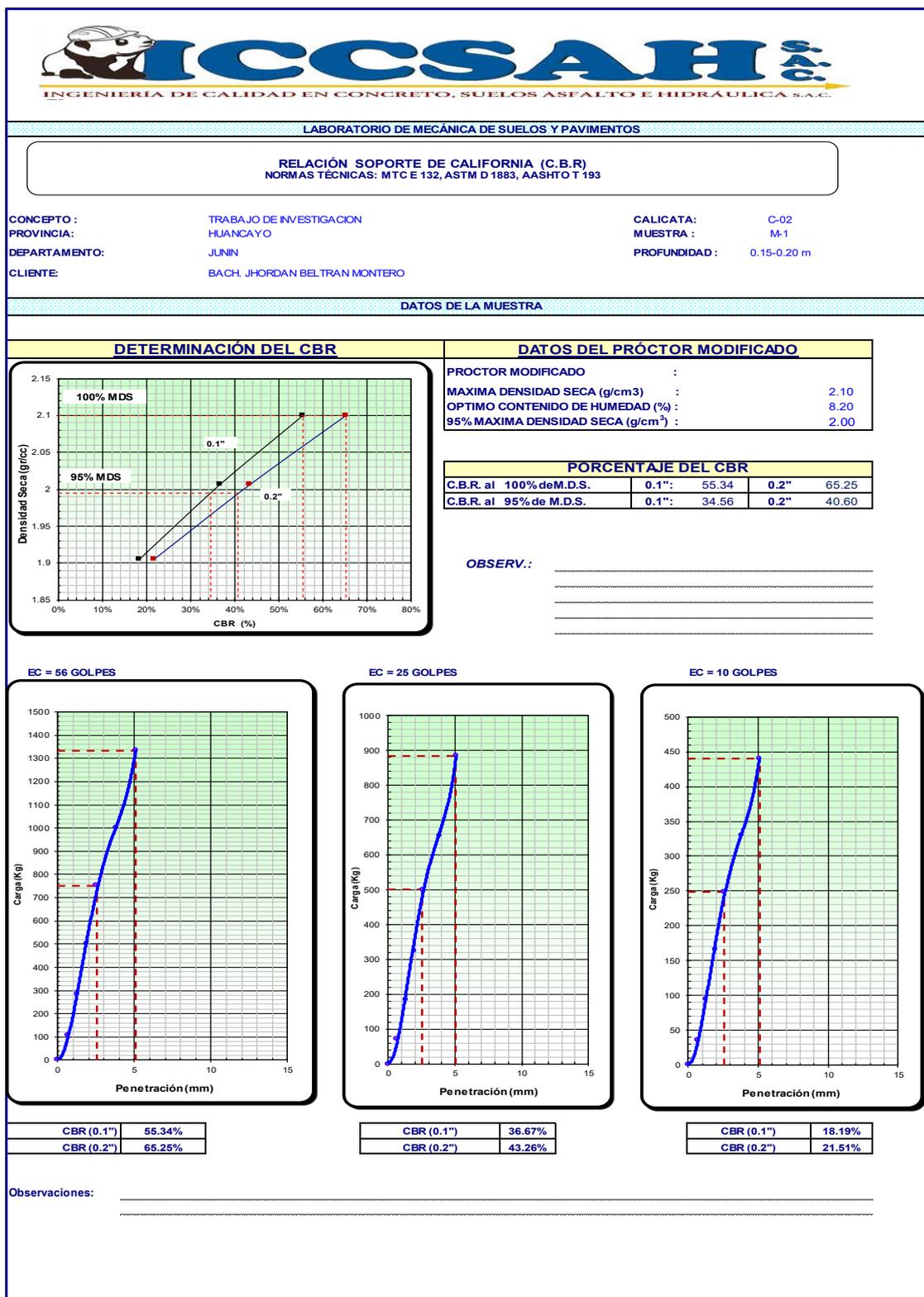
---

Observaciones: \_\_\_\_\_

---

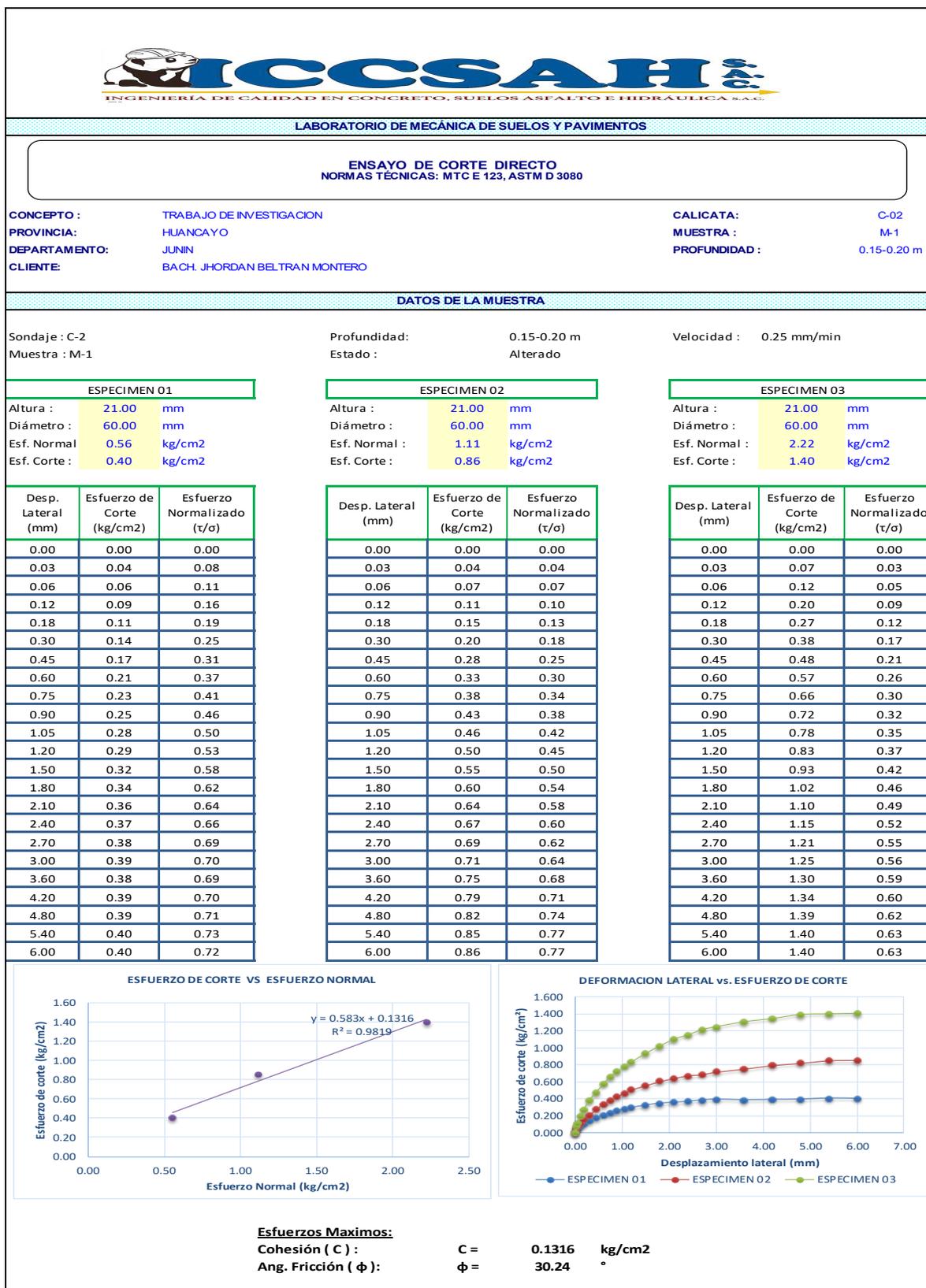
Fuente: ICCSAH SAC.

Figura 62: Ensayo de Relación de Soporte de California CBR sin adición (Muestra C-2).



Fuente: ICCSAH SAC.

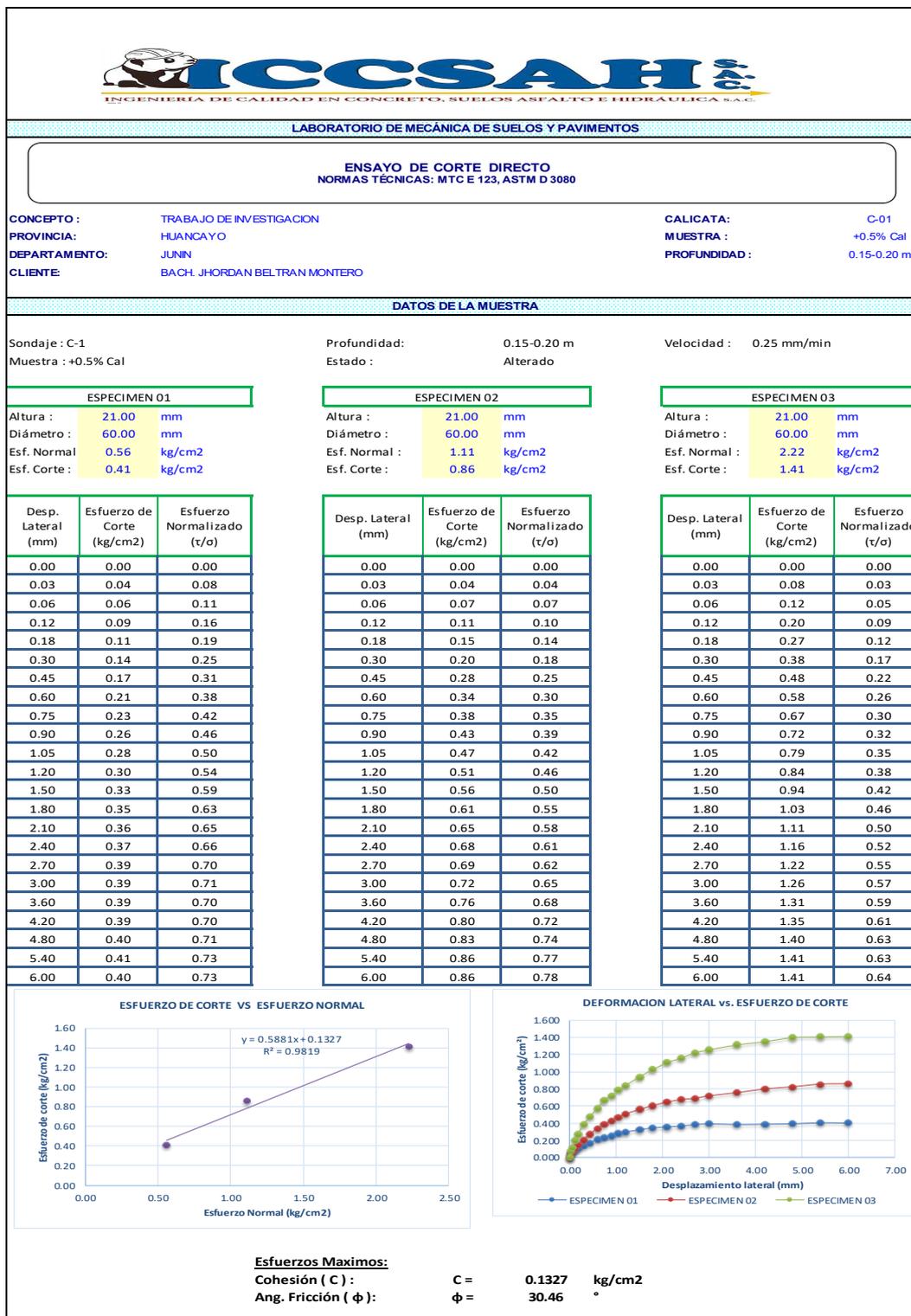
Figura 63: Ensayo de Corte Directo sin adición (Muestra C-2).



Fuente: ICCSAH SAC.

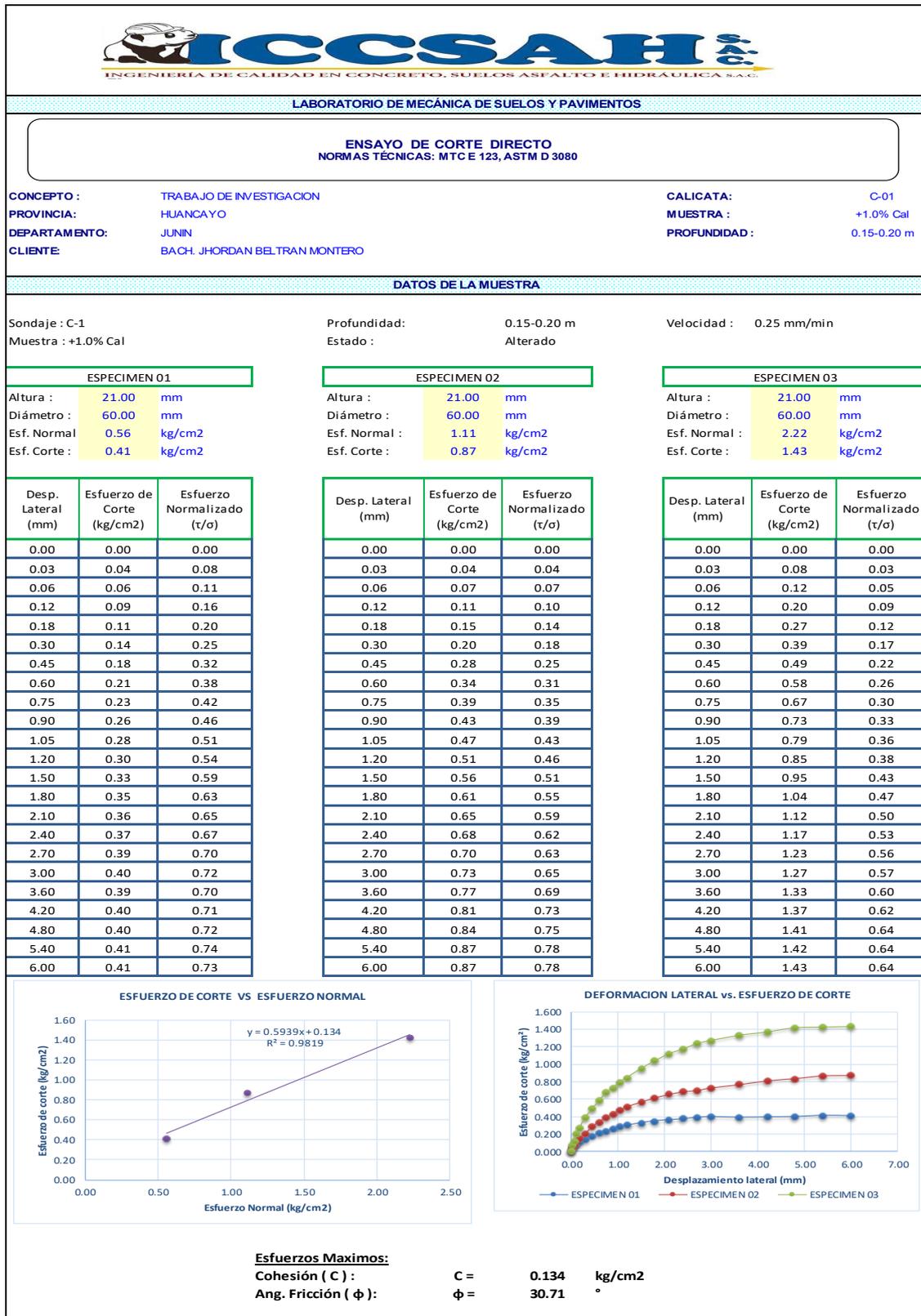
## ANEXO 2.2: CERTIFICADOS DE ENSAYOS DE LA MUESTRA CON ADICIÓN DE CAL HIDRATADA.

Figura 64: Ensayo de Corte Directo + 0.5% cal (Muestra C-1).



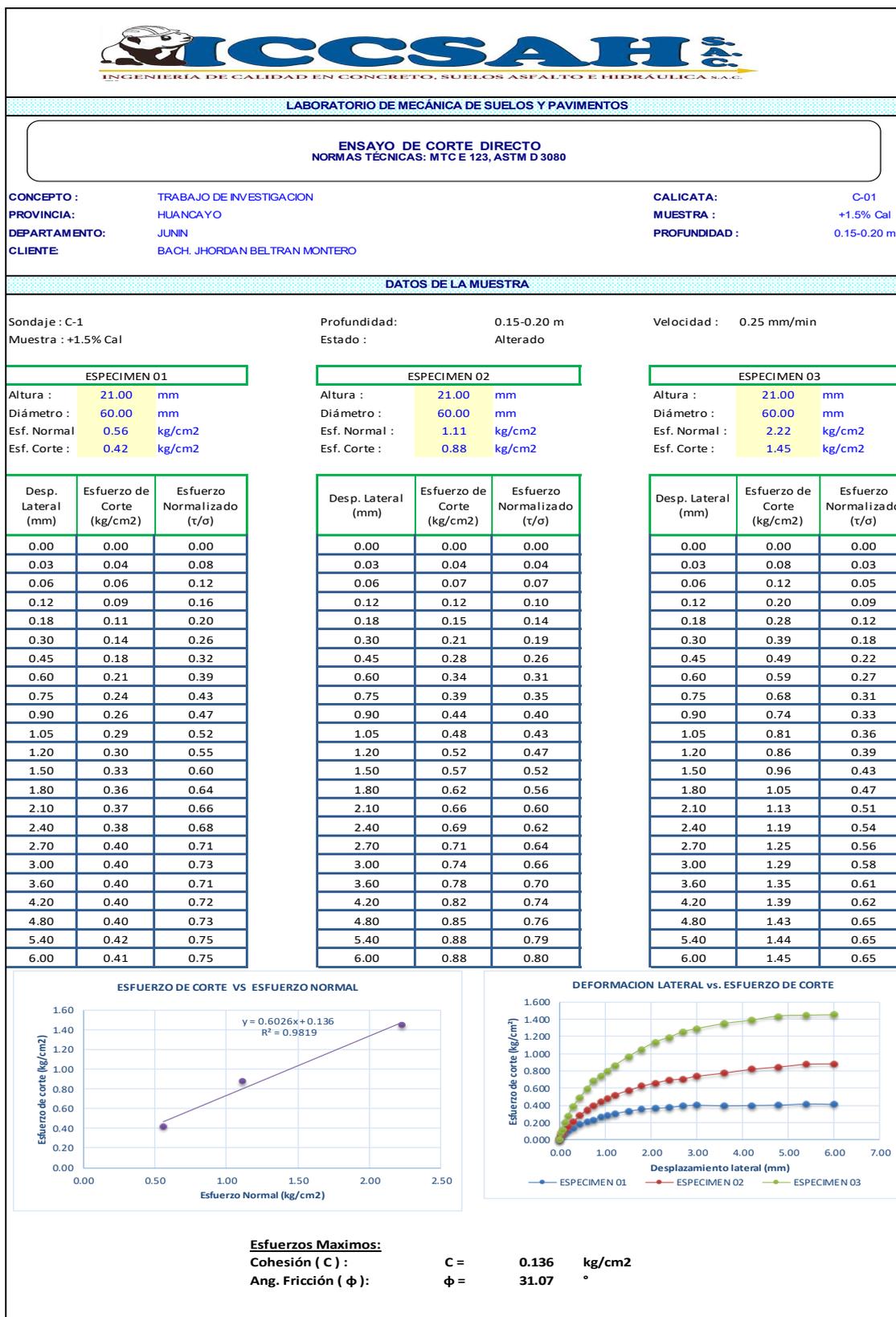
Fuente: ICCSAH SAC.

Figura 65: Ensayo de Corte Directo + 1.0% cal (Muestra C-1).



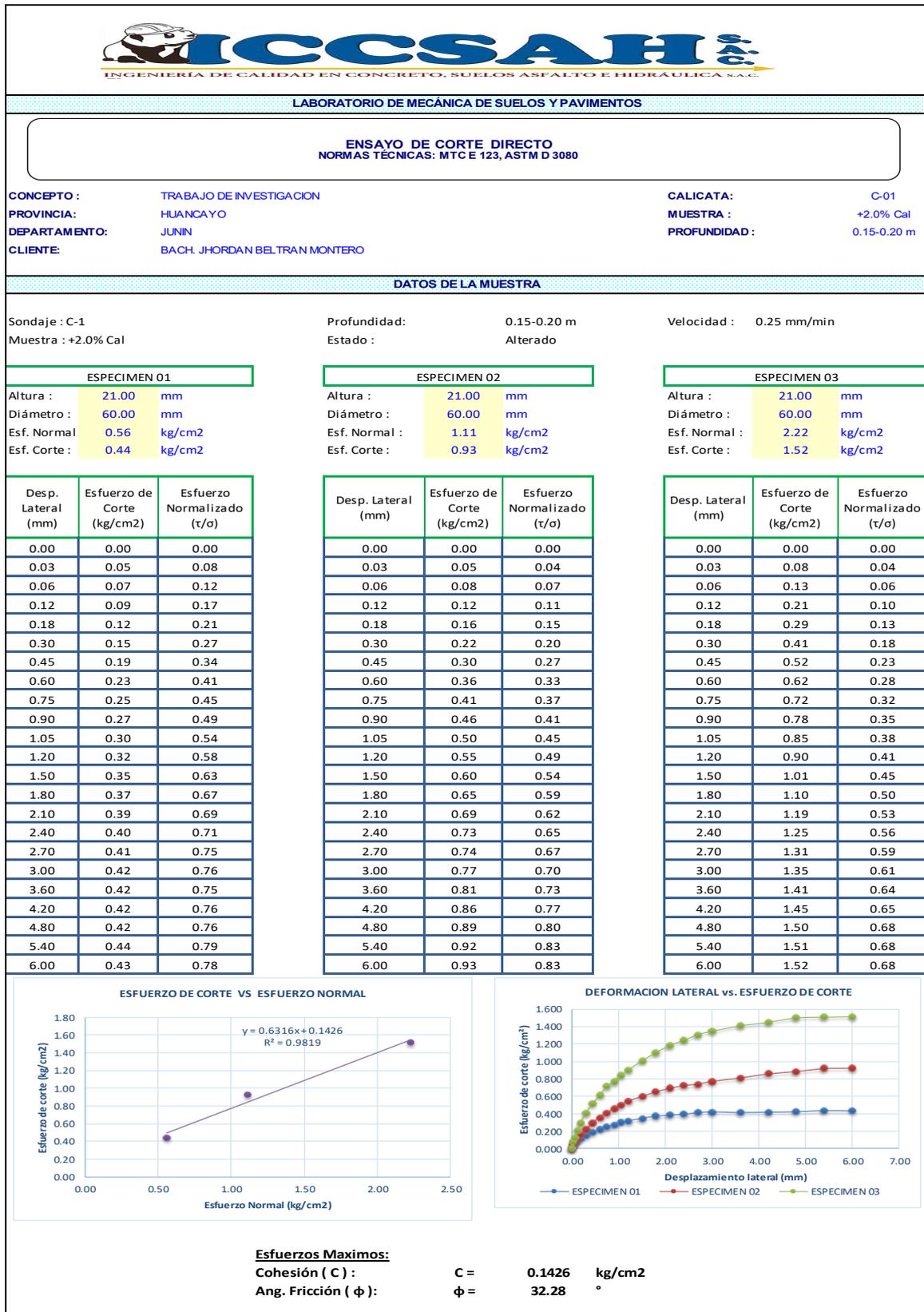
Fuente: ICCSAH SAC.

Figura 66: Ensayo de Corte Directo + 1.5% cal (Muestra C-1).



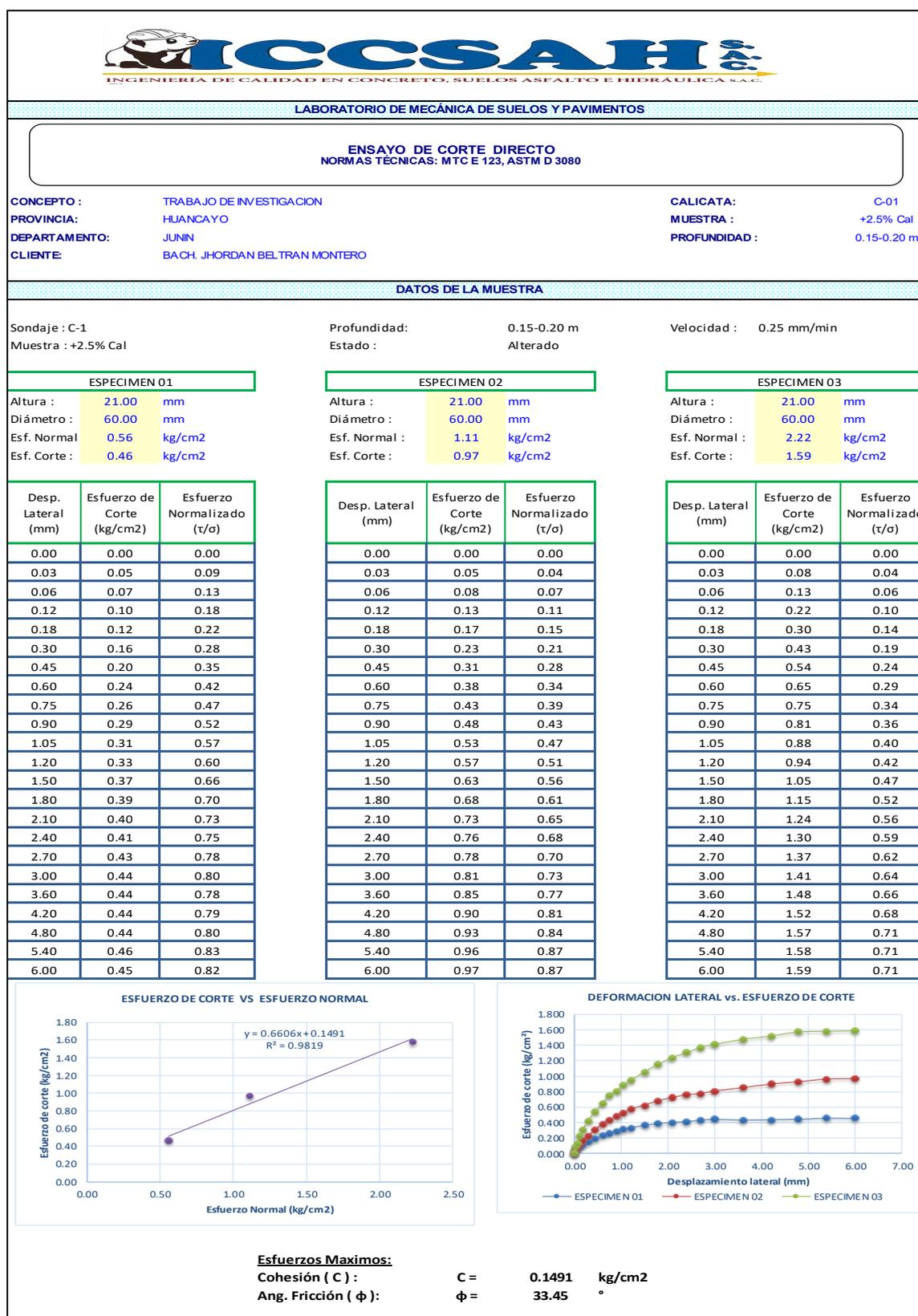
Fuente: ICCSAH SAC.

Figura 67: Ensayo de Corte Directo + 2.0% cal (Muestra C-1).



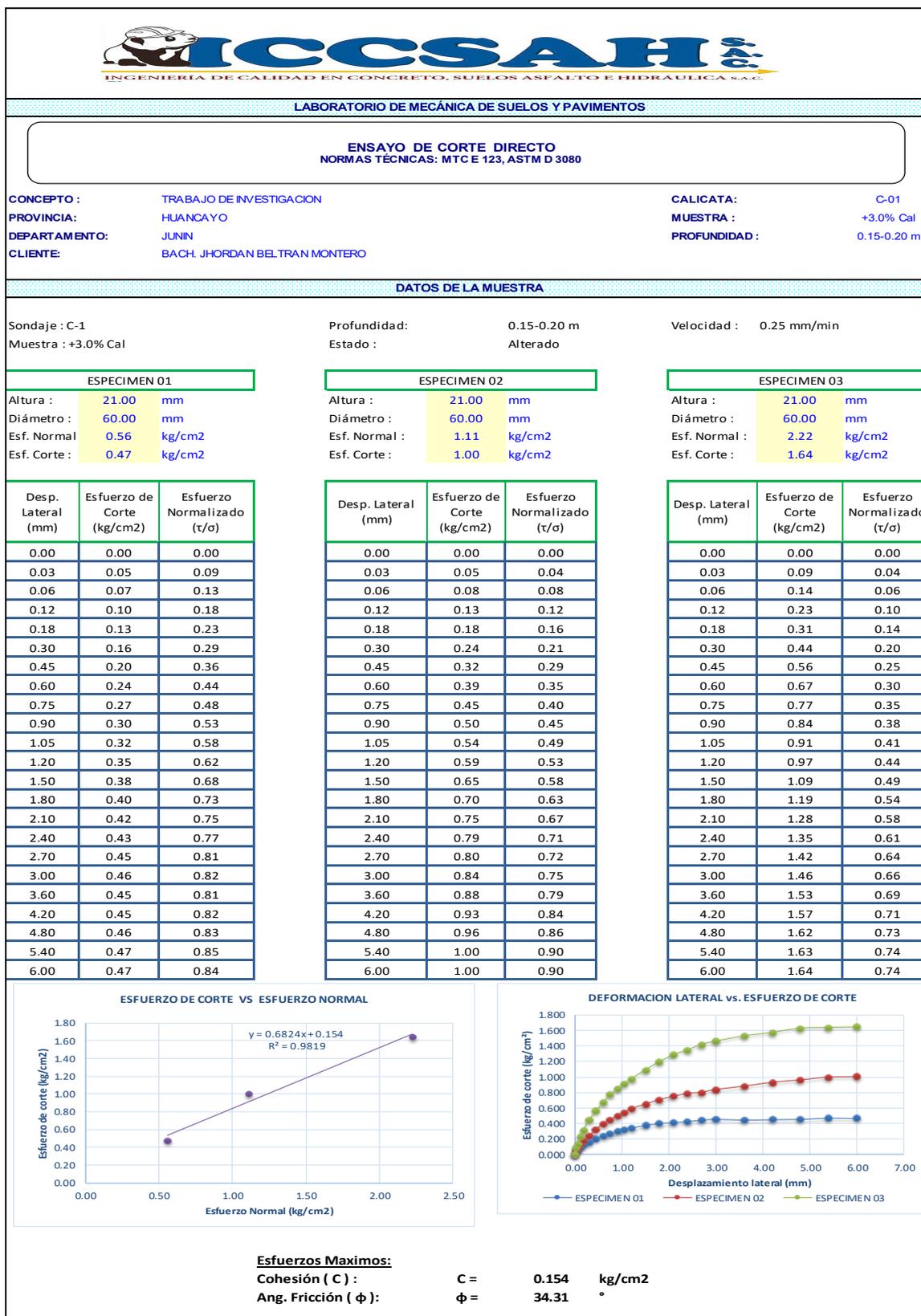
Fuente: ICCSAH SAC.

Figura 68: Ensayo de Corte Directo + 2.5% cal (Muestra C-1).



Fuente: ICCSAH SAC.

Figura 69: Ensayo de Corte Directo + 3.0% cal (Muestra C-1).



Fuente: ICCSAH SAC.

Figura 70: Ensayo de Relación de Soporte de California CBR + 2.0% cal (Muestra C-1).



**ICCSAH SAC**  
INGENIERÍA DE CALIDAD EN CONCRETO, SUELOS ASFALTO E HIDRÁULICA S.A.C.

---

**LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y PAVIMENTOS**

---

**RELACIÓN SOPORTE DE CALIFORNIA (C.B.R)**  
NORMAS TÉCNICAS: MTC E 132, ASTM D 1883, AASHTO T 193

---

CONCEPTO :	TRABAJO DE INVESTIGACION	CALICATA:	C-01
PROVINCIA:	HUANCAYO	MUESTRA :	+2.0% cal
DEPARTAMENTO:	JUNIN	PROFUNDIDAD :	0.15-0.20m
CLIENTE:	BACH. JHORDAN BELTRAN MONTERO		

---

**DATOS DE LA MUESTRA**

---

**COMPACTACIÓN**

	5	6	7
Molde N°	5	6	7
Capas N°	5	5	5
Golpes por capa N°	10	25	56
Condición de la muestra	<b>SATURADO</b>	<b>NO SATURADO</b>	<b>SATURADO</b>
Peso de molde + Suelo húmedo (g)	13196	12095	13269
Peso de molde + base (g)	8618	7286	8302
Peso del suelo húmedo (g)	4578	4809	4967
Volumen del molde (cm <sup>3</sup> )	2124	2124	2124
Densidad húmeda (g/cm <sup>3</sup> )	2.156	2.265	2.339
Tara (N°)	T11	T12	T13
Peso suelo húmedo + tara (g)	180.0	235.9	211.4
Peso suelo seco + tara (g)	169.9	224.3	201.2
Peso de tara (g)	34.0	67.6	67.6
Peso de agua (g)	10.1	11.6	10.2
Peso de suelo seco (g)	135.9	156.7	133.6
Contenido de humedad (%)	7.43	7.40	7.63
Densidad seca (g/cm <sup>3</sup> )	2.007	2.109	2.173

---

**PENETRACION**

PENETRACION mm	CARGA STAND. kg/cm <sup>2</sup>	MOLDE N° 10 G			MOLDE N° 25 G				MOLDE N° 56 G			
		CARGA		CORRECCION	CARGA		CORRECCION		CARGA		CORRECCION	
		Dial (div)	kg	kg	Dial (div)	kg	kg	%	Dial (div)	kg	kg	%
0.000			0			0				0		
0.635			38			84				118		
1.270			114			225				336		
1.905			191			382				583		
2.540	70.5		331	330.7	24.3	660	660.3	48.4		993	993.0	72.82
3.810			499			992				1513		
5.080	105.7		678	678.2	33.2	1351	1350.8	66.0		2040	2040.2	99.7

---

Observaciones: \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

Fuente: ICCSAH SAC.

Figura 71: Ensayo de Relación de Soporte de California CBR + 2.0% cal (Muestra C-1).



**ICCSAH S.A.C.**  
INGENIERÍA DE CALIDAD EN CONCRETO, SUELOS ASFALTO E HIDRÁULICA S.A.C.

---

**LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y PAVIMENTOS**

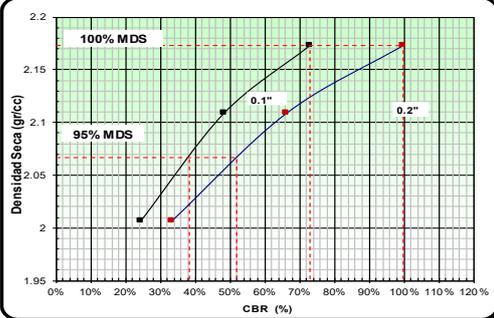
**RELACIÓN SOPORTE DE CALIFORNIA (C.B.R)**  
NORMAS TÉCNICAS: MTC E 132, ASTM D 1883, AASHTO T 193

<b>CONCEPTO :</b>	TRABAJO DE INVESTIGACION	<b>CALICATA:</b>	C-01
<b>PROVINCIA:</b>	HUANCAYO	<b>MUESTRA :</b>	+2.0% cal
<b>DEPARTAMENTO:</b>	JUNIN	<b>PROFUNDIDAD :</b>	0.15-0.20 m
<b>CLIENTE:</b>	BACH. JHORDAN BELTRAN MONTERO		

---

**DATOS DE LA MUESTRA**

**DETERMINACIÓN DEL CBR**



**DATOS DEL PRÓCTOR MODIFICADO**

PROCTOR MODIFICADO :

MAXIMA DENSIDAD SECA (g/cm <sup>3</sup> ) :	2.18
OPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD (%) :	7.50
95% MAXIMA DENSIDAD SECA (g/cm <sup>3</sup> ) :	2.07

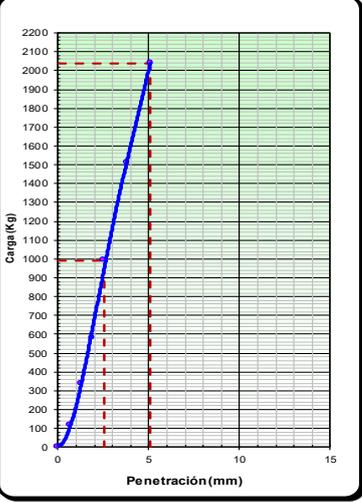
PORCENTAJE DEL CBR			
C.B.R. al 100% de M.D.S.	0.1":	72.82	0.2" 99.73
C.B.R. al 95% de M.D.S.	0.1":	38.30	0.2" 52.00

**OBSERV.:** \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

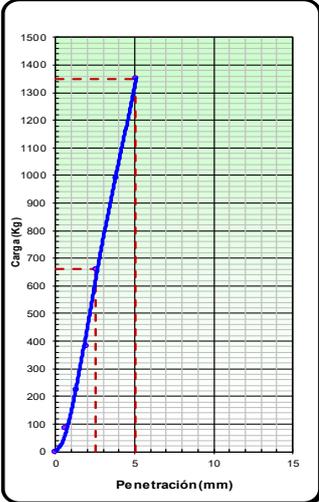
\_\_\_\_\_

**EC = 56 GOLPES**



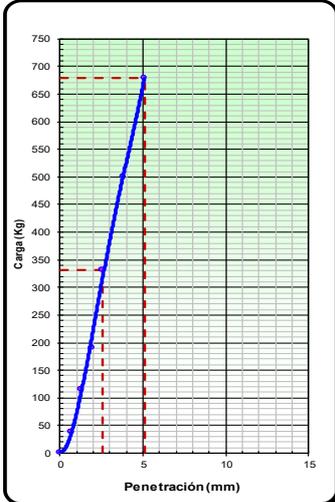
CBR (0.1")	72.82%
CBR (0.2")	99.73%

**EC = 25 GOLPES**



CBR (0.1")	48.42%
CBR (0.2")	66.03%

**EC = 10 GOLPES**



CBR (0.1")	24.25%
CBR (0.2")	33.15%

**Observaciones:** \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

Fuente: ICCSAH SAC.

Figura 72: Ensayo de Relación de Soporte de California CBR + 4.0% cal (Muestra C-1).



**INGENIERÍA DE CALIDAD EN CONCRETO, SUELOS ASFALTO E HIDRÁULICA S.A.C.**

---

**LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y PAVIMENTOS**

---

**RELACIÓN SOPORTE DE CALIFORNIA (C.B.R)**  
 NORMAS TÉCNICAS: MTC E 132, ASTM D 1883, AASHTO T 193

---

<b>CONCEPTO :</b>	TRABAJO DE INVESTIGACION	<b>CALICATA:</b>	C-01
<b>PROVINCIA:</b>	HUANCAYO	<b>MUESTRA :</b>	+4.0% cal
<b>DEPARTAMENTO:</b>	JUNIN	<b>PROFUNDIDAD :</b>	0.15-0.20m
<b>CLIENTE:</b>	BACH. JHORDAN BELTRAN MONTERO		

---

**DATOS DE LA MUESTRA**

---

**COMPACTACIÓN**

Molde N°	5	6	7
Capas N°	5	5	5
Golpes por capa N°	10	25	56
Condición de la muestra	<b>SATURADO</b>	<b>NO SATURADO</b>	<b>SATURADO</b>
Peso de molde + Suelo húmedo (g)	13208	12095	13264
Peso de molde + base (g)	8626	7286	8302
Peso del suelo húmedo (g)	4582	4809	4962
Volumen del molde (cm <sup>3</sup> )	2124	2124	2124
Densidad húmeda (g/cm <sup>3</sup> )	2.158	2.265	2.337
Tara (N°)	T11	T12	T13
Peso suelo húmedo + tara (g)	196.5	121.1	241.2
Peso suelo seco + tara (g)	185.2	117.5	229.3
Peso de tara (g)	34.0	67.6	67.6
Peso de agua (g)	11.3	3.6	11.9
Peso de suelo seco (g)	151.2	49.9	161.7
Contenido de humedad (%)	7.47	7.21	7.36
Densidad seca (g/cm <sup>3</sup> )	2.008	2.112	2.177

---

**PENETRACION**

PENETRACION mm	CARGA STAND. kg/cm <sup>2</sup>	MOLDE N° 10 G				MOLDE N° 25 G				MOLDE N° 56 G			
		CARGA		CORRECCION		CARGA		CORRECCION		CARGA		CORRECCION	
		Dial (div)	kg	kg	%	Dial (div)	kg	kg	%	Dial (div)	kg	kg	%
0.000			0			0				0			
0.635			43			94				132			
1.270			128			253				378			
1.905			214			429				655			
2.540	70.5		371	371.4	27.2	742	741.6	54.4		1115	1115.2	81.78	
3.810			560			1114				1700			
5.080	105.7		762	761.7	37.2	1517	1517.1	74.2		2291	2291.4	112.0	

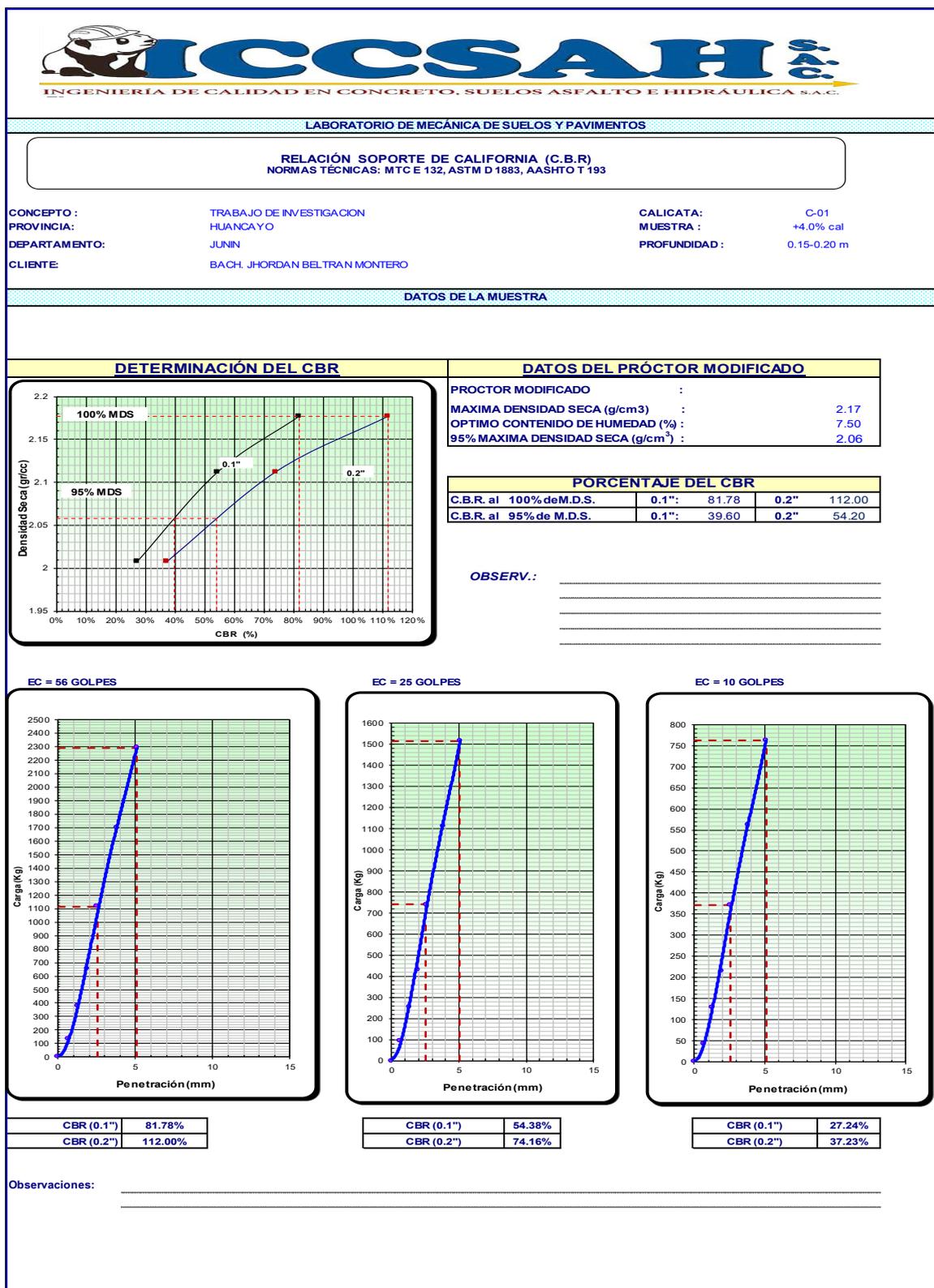
---

Observaciones: \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

Fuente: ICCSAH SAC.

Figura 73: Ensayo de Relación de Soporte de California CBR + 4.0% cal (Muestra C-1).



Fuente: ICCSAH SAC.

Figura 74: Ensayo de Relación de Soporte de California CBR + 6.0% cal (Muestra C-1).

 <b>LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y PAVIMENTOS</b>													
<b>RELACIÓN SOPORTE DE CALIFORNIA (C.B.R)</b> NORMAS TÉCNICAS: MTC E 132, ASTM D 1883, AASHTO T 193													
CONCEPTO :	TRABAJO DE INVESTIGACION				CALICATA:	C-01							
PROVINCIA:	HUANCAYO				MUESTRA :	+6.0% cal							
DEPARTAMENTO:	JUNIN				PROFUNDIDAD :	0.15-0.20m							
CLIENTE:	BACH. JHORDAN BEL TRAN MONTERO												
DATOS DE LA MUESTRA													
COMPACTACIÓN													
Molde N°	5				6				7				
Capas N°	5				5				5				
Golpes por capa N°	10				25				56				
Condición de la muestra	SATURADO		NO SATURADO		SATURADO		NO SATURADO		SATURADO		NOSATURADO		
Peso de molde + Suelo húmedo (g)	13184				12021				13252				
Peso de molde + base (g)	8616				7272				8316				
Peso del suelo húmedo (g)	4568				4749				4936				
Volumen del molde (cm <sup>3</sup> )	2124				2124				2124				
Densidad húmeda (g/cm <sup>3</sup> )	2.151				2.236				2.324				
Tara (N°)	T11				T12				T13				
Peso suelo húmedo + tara (g)	175.5				145.1				221.2				
Peso suelo seco + tara (g)	165.9				139.8				210.8				
Peso de tara (g)	34.0				67.6				67.6				
Peso de agua (g)	9.6				5.3				10.4				
Peso de suelo seco (g)	131.9				72.2				143.2				
Contenido de humedad (%)	7.28				7.34				7.26				
Densidad seca (g/cm <sup>3</sup> )	2.005				2.083				2.167				
PENETRACION													
PENETRACION mm	CARGA STAND. kg/cm <sup>2</sup>	MOLDE N° 10 G				MOLDE N° 25 G				MOLDE N° 56 G			
		CARGA		CORRECCION		CARGA		CORRECCION		CARGA		CORRECCION	
		Dial (div)	kg	kg	%	Dial (div)	kg	kg	%	Dial (div)	kg	kg	%
0.000			0			0					0		
0.635			32			83					124		
1.270			96			221					355		
1.905			160			375					615		
2.540	70.5		277	277.3	20.3	648	647.9	47.5			1048	1048.1	76.86
3.810			418			974					1597		
5.080	105.7		569	568.7	27.8	1326	1325.5	64.8			2153	2153.4	105.3
Observaciones: _____													

Fuente: ICCSAH SAC.

Figura 75: Ensayo de Relación de Soporte de California CBR + 6.0% cal (Muestra C-1).



**INGENIERÍA DE CALIDAD EN CONCRETO, SUELOS ASFALTO E HIDRÁULICA S.A.C.**

---

**LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y PAVIMENTOS**

---

**RELACION SOPORTE DE CALIFORNIA (C.B.R)**  
 NORMAS TÉCNICAS: MTC E 132, ASTM D 1883, AASHTO T 193

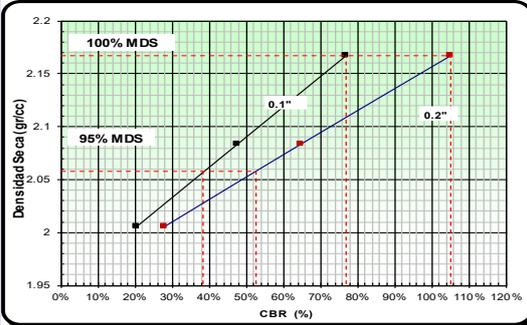
---

<b>CONCEPTO :</b>	TRABAJO DE INVESTIGACION	<b>CALICATA:</b>	C-01
<b>PROVINCIA:</b>	HUANCAYO	<b>MUESTRA :</b>	+6.0% cal
<b>DEPARTAMENTO:</b>	JUNIN	<b>PROFUNDIDAD :</b>	0.15-0.20 m
<b>CLIENTE:</b>	BACH. JHORDAN BELTRAN MONTERO		

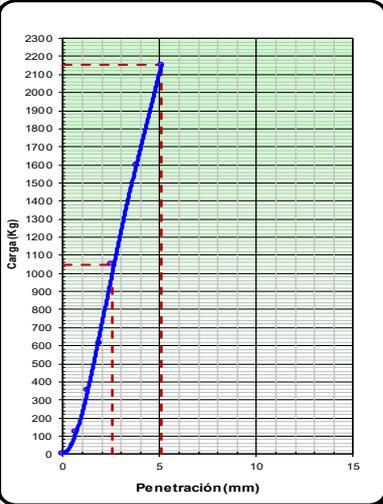
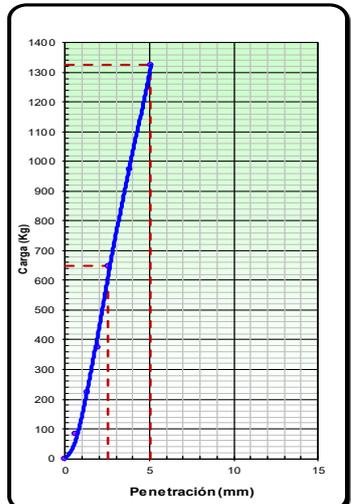
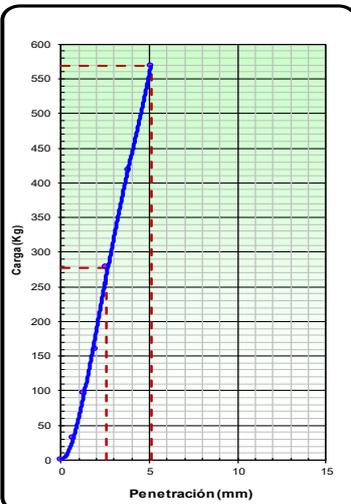
---

**DATOS DE LA MUESTRA**

---

<p style="text-align: center;"><b>DETERMINACIÓN DEL CBR</b></p> 	<p style="text-align: center;"><b>DATOS DEL PRÓCTOR MODIFICADO</b></p> <p>PROCTOR MODIFICADO : _____</p> <p>MAXIMA DENSIDAD SECA (g/cm<sup>3</sup>) : 2.17</p> <p>OPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD (%) : 7.50</p> <p>95% MAXIMA DENSIDAD SECA (g/cm<sup>3</sup>) : 2.06</p> <hr/> <p style="text-align: center;"><b>PORCENTAJE DEL CBR</b></p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td>C.B.R. al 100% de M.D.S.</td> <td>0.1":</td> <td>76.86</td> <td>0.2"</td> <td>105.26</td> </tr> <tr> <td>C.B.R. al 95% de M.D.S.</td> <td>0.1":</td> <td>38.20</td> <td>0.2"</td> <td>52.50</td> </tr> </table> <p><b>OBSERV.:</b> _____</p> <p>_____</p> <p>_____</p> <p>_____</p>	C.B.R. al 100% de M.D.S.	0.1":	76.86	0.2"	105.26	C.B.R. al 95% de M.D.S.	0.1":	38.20	0.2"	52.50
C.B.R. al 100% de M.D.S.	0.1":	76.86	0.2"	105.26							
C.B.R. al 95% de M.D.S.	0.1":	38.20	0.2"	52.50							

---

<p><b>EC = 56 GOLPES</b></p>  <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td>CBR (0.1")</td> <td>76.86%</td> </tr> <tr> <td>CBR (0.2")</td> <td>105.26%</td> </tr> </table>	CBR (0.1")	76.86%	CBR (0.2")	105.26%	<p><b>EC = 25 GOLPES</b></p>  <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td>CBR (0.1")</td> <td>47.51%</td> </tr> <tr> <td>CBR (0.2")</td> <td>64.79%</td> </tr> </table>	CBR (0.1")	47.51%	CBR (0.2")	64.79%	<p><b>EC = 10 GOLPES</b></p>  <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td>CBR (0.1")</td> <td>20.34%</td> </tr> <tr> <td>CBR (0.2")</td> <td>27.80%</td> </tr> </table>	CBR (0.1")	20.34%	CBR (0.2")	27.80%
CBR (0.1")	76.86%													
CBR (0.2")	105.26%													
CBR (0.1")	47.51%													
CBR (0.2")	64.79%													
CBR (0.1")	20.34%													
CBR (0.2")	27.80%													

---

**Observaciones:** \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

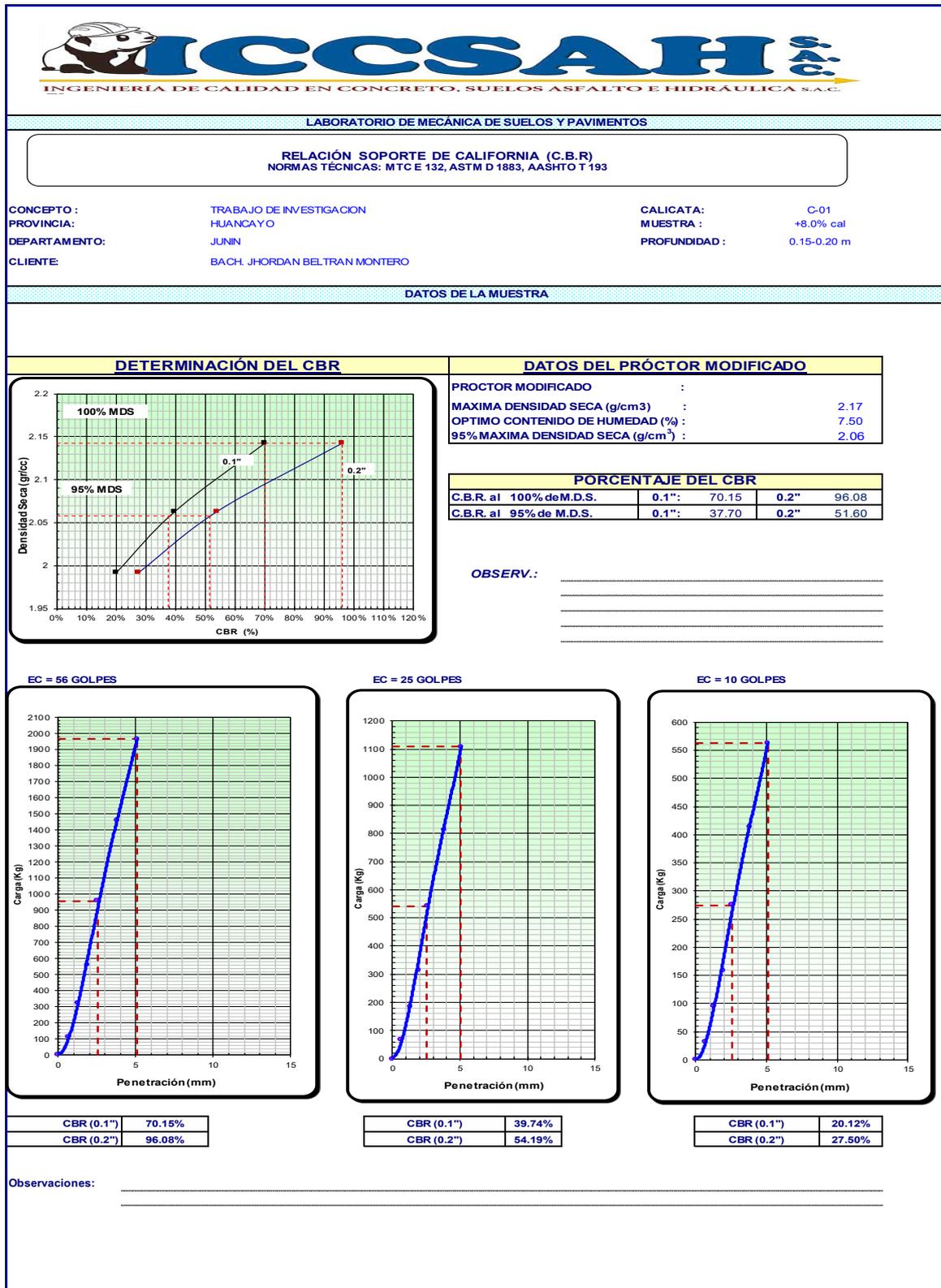
Fuente: ICCSAH SAC.

Figura 76: Ensayo de Relación de Soporte de California CBR + 8.0% cal (Muestra C-1).

 <b>LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y PAVIMENTOS</b>													
<b>RELACIÓN SOPORTE DE CALIFORNIA (C.B.R)</b> NORMAS TÉCNICAS: MTC E 132, ASTM D 1883, AASHTO T 193													
CONCEPTO :	TRABAJO DE INVESTIGACION				CALICATA:	C-01							
PROVINCIA:	HUANCAYO				MUESTRA :	+8.0% cal							
DEPARTAMENTO:	JUNIN				PROFUNDIDAD :	0.15-0.20m							
CLIENTE:	BACH. JHORDAN BEL TRAN MONTERO												
DATOS DE LA MUESTRA													
COMPACTACIÓN													
Molde N°	5				6				7				
Capas N°	5				5				5				
Golpes por capa N°	10				25				56				
Condición de la muestra	SATURADO		NO SATURADO		SATURADO		NO SATURADO		SATURADO		NOSATURADO		
Peso de molde + Suelo húmedo (g)	13162				12001				13281				
Peso de molde + base (g)	8617				7292				8398				
Peso del suelo húmedo (g)	4545				4709				4883				
Volumen del molde (cm <sup>3</sup> )	2124				2124				2124				
Densidad húmeda (g/cm <sup>3</sup> )	2.140				2.218				2.300				
Tara (N°)	T11				T12				T13				
Peso suelo húmedo + tara (g)	186.5				185.4				207.8				
Peso suelo seco + tara (g)	175.9				177.2				198.2				
Peso de tara (g)	34.0				67.6				67.6				
Peso de agua (g)	10.6				8.2				9.6				
Peso de suelo seco (g)	141.9				109.6				130.6				
Contenido de humedad (%)	7.47				7.48				7.35				
Densidad seca (g/cm <sup>3</sup> )	1.992				2.063				2.142				
PENETRACION													
PENETRACION mm	CARGA STAND. kg/cm <sup>2</sup>	MOLDE N° 10 G				MOLDE N° 25 G				MOLDE N° 56 G			
		CARGA		CORRECCION		CARGA		CORRECCION		CARGA		CORRECCION	
		Dial (div)	kg	kg	%	Dial (div)	kg	kg	%	Dial (div)	kg	kg	%
0.000			0			0					0		
0.635			32			69					113		
1.270			95			185					324		
1.905			158			314					562		
2.540	70.5		274	274.4	20.1	542	541.9	39.7			957	956.7	70.15
3.810			414			814					1458		
5.080	105.7		563	562.7	27.5	1109	1108.6	54.2			1966	1965.6	96.1
Observaciones:													

Fuente: ICCSAH SAC.

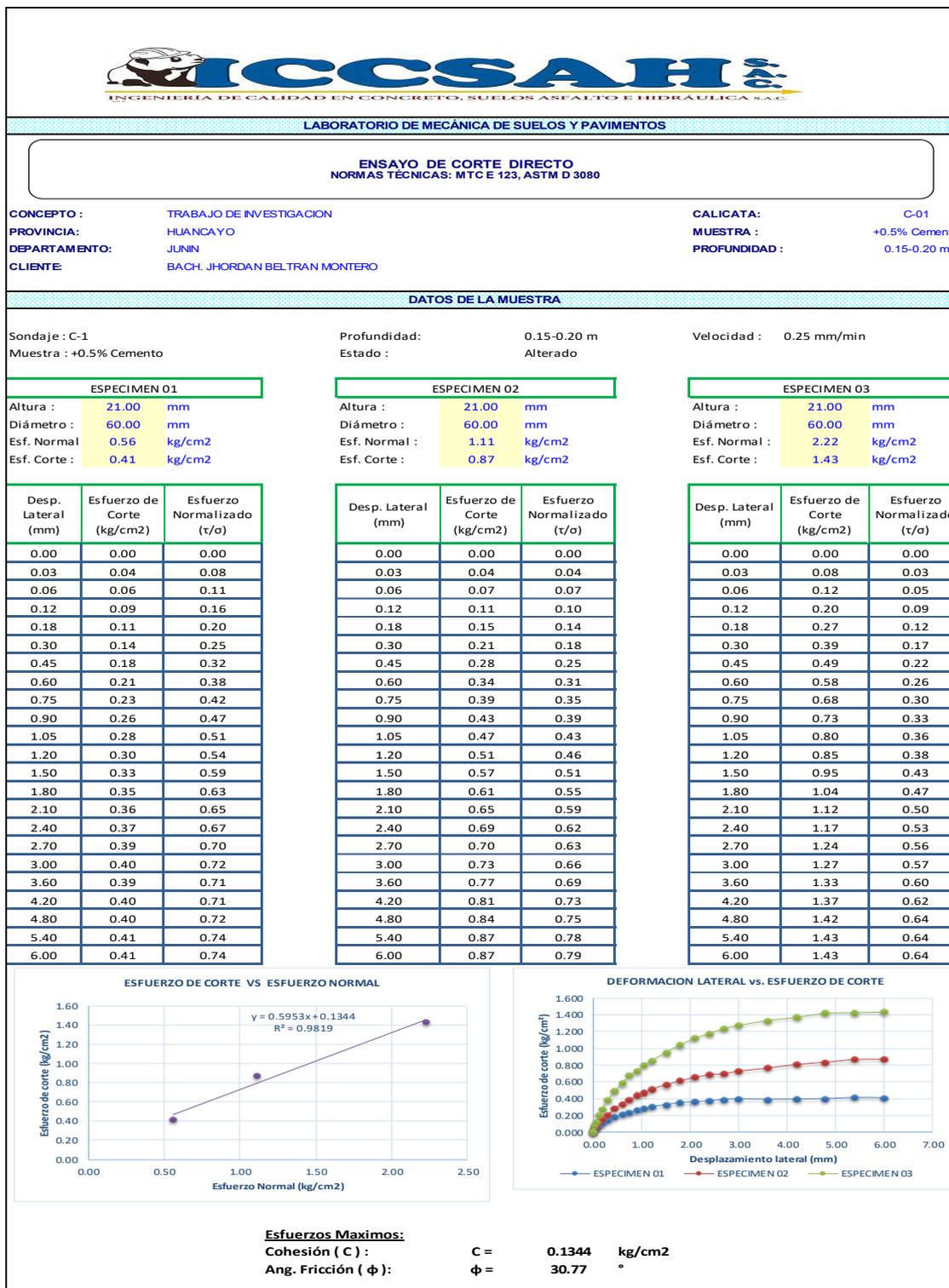
Figura 77: Ensayo de Relación de Soporte de California CBR + 8.0% cal (Muestra C-1).



Fuente: ICCSAH SAC.

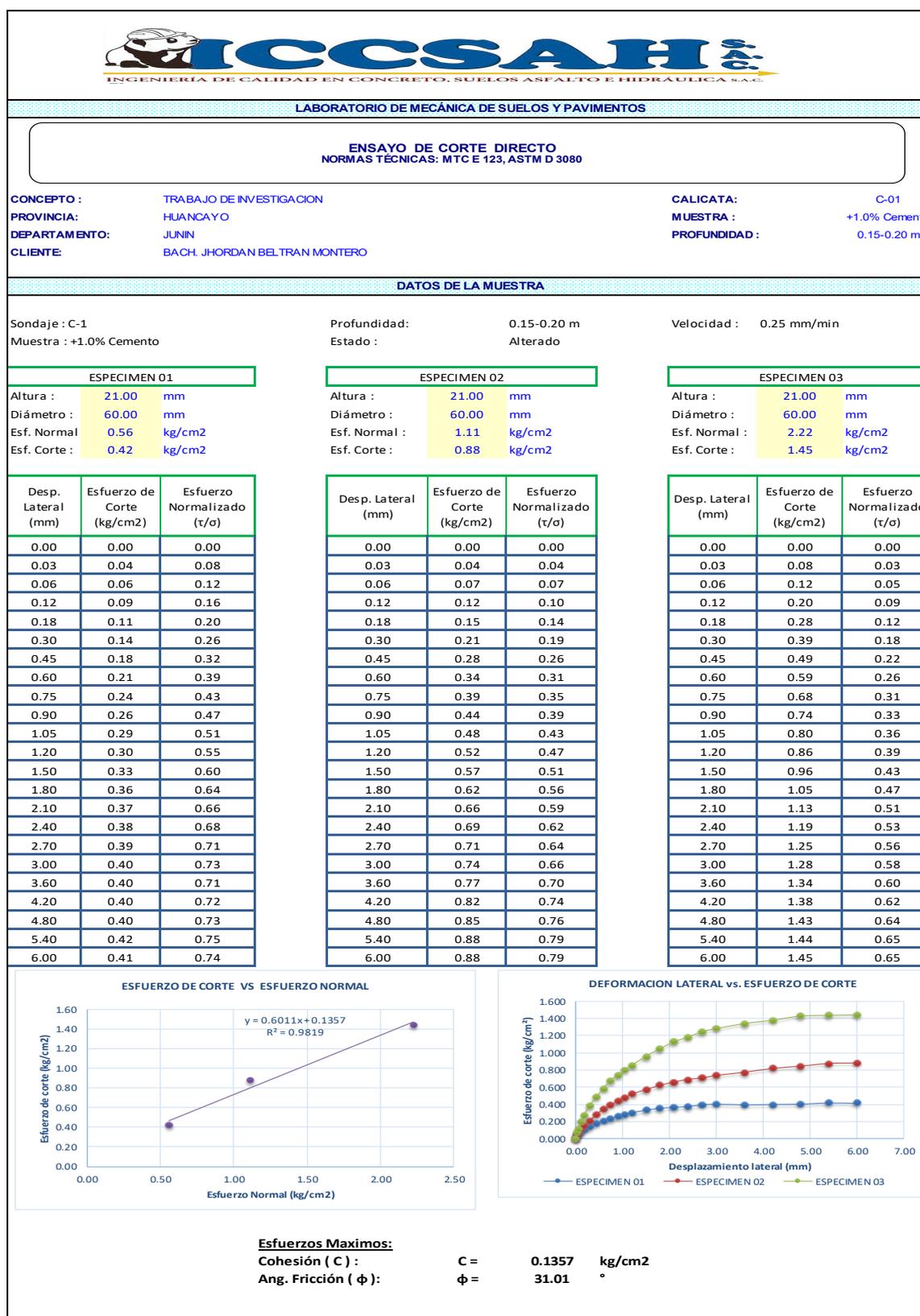
## ANEXO 2.3: CERTIFICADOS DE ENSAYOS DE LA MUESTRA CON ADICIÓN DE CEMENTO TIPO I.

Figura 78: Ensayo de Corte Directo + 0.5% cemento (Muestra C-1).



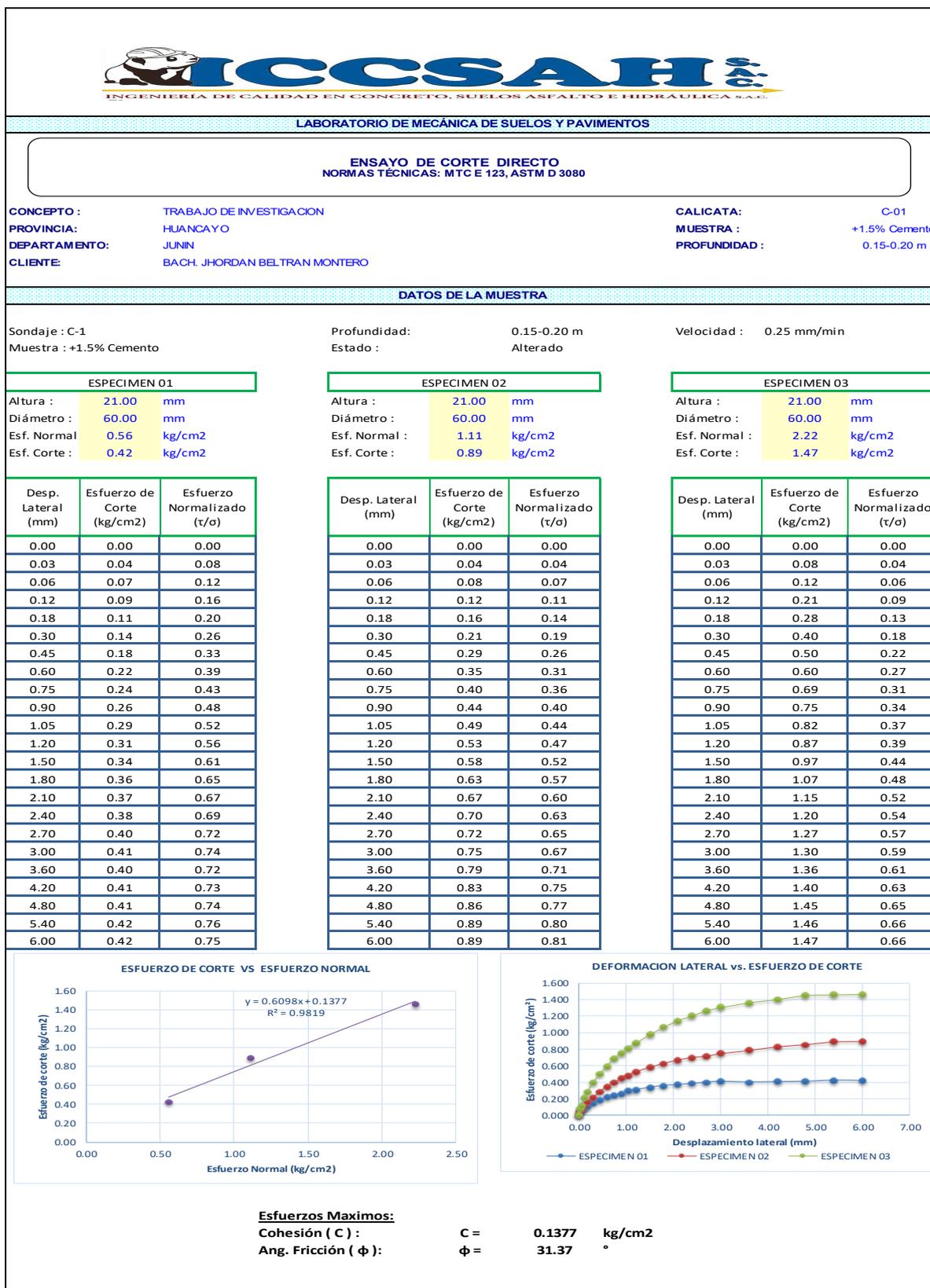
Fuente: ICCSAH SAC.

Figura 79: Ensayo de Corte Directo + 1.0% cemento (Muestra C-1).



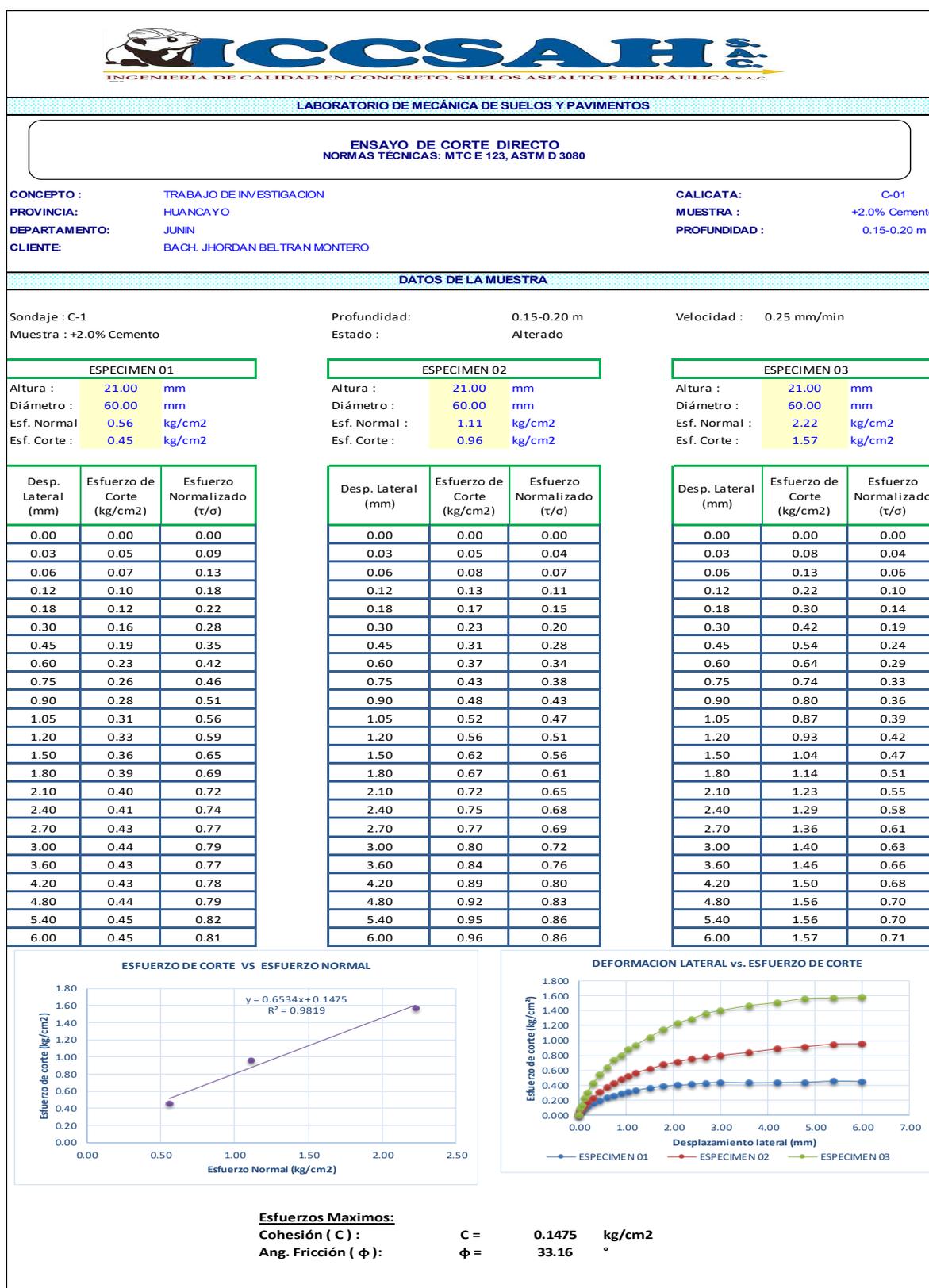
Fuente: ICCSAH SAC.

Figura 80: Ensayo de Corte Directo + 1.5% cemento (Muestra C-1).



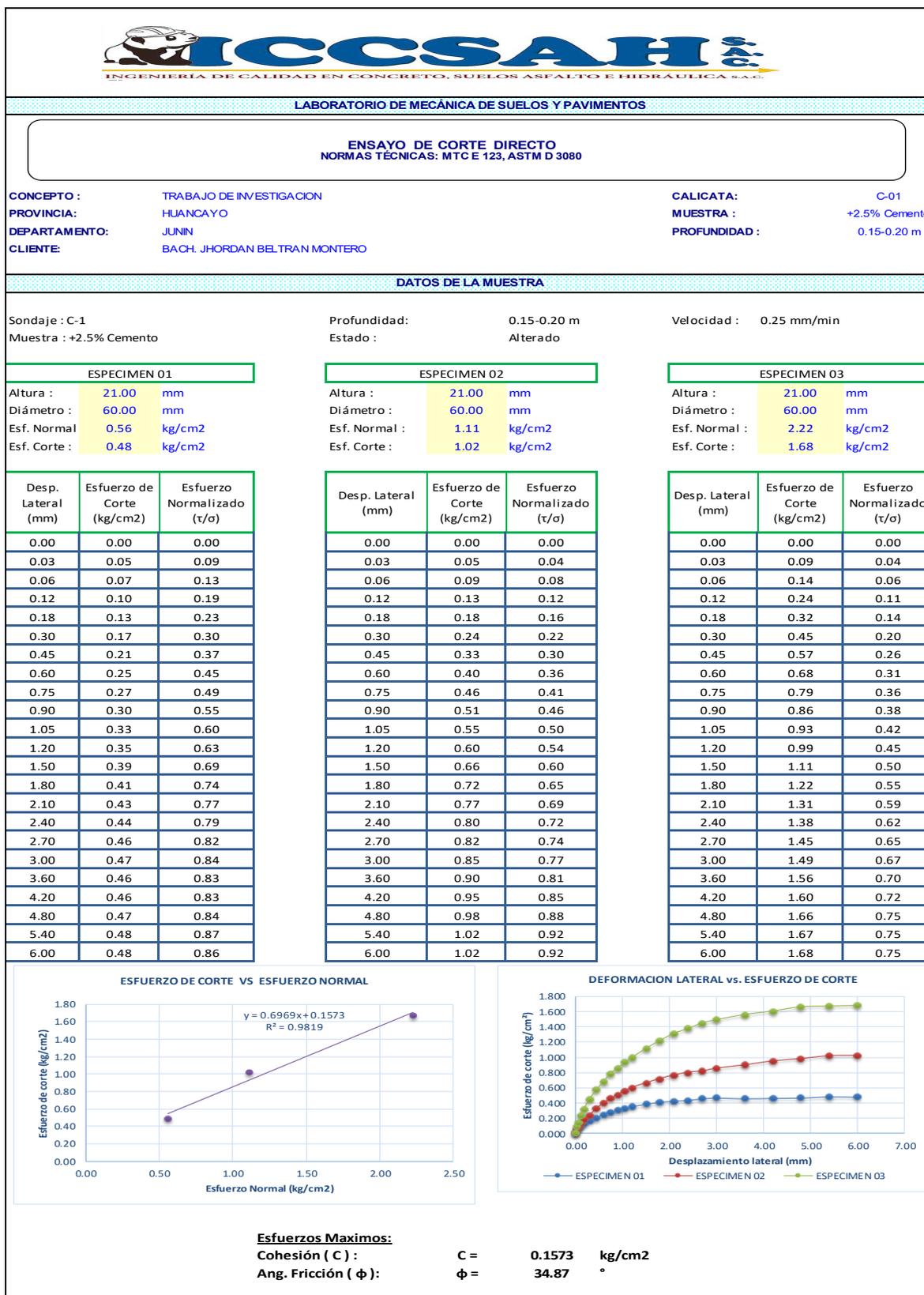
Fuente: ICCSAH SAC.

Figura 81: Ensayo de Corte Directo + 2.0% cemento (Muestra C-1).



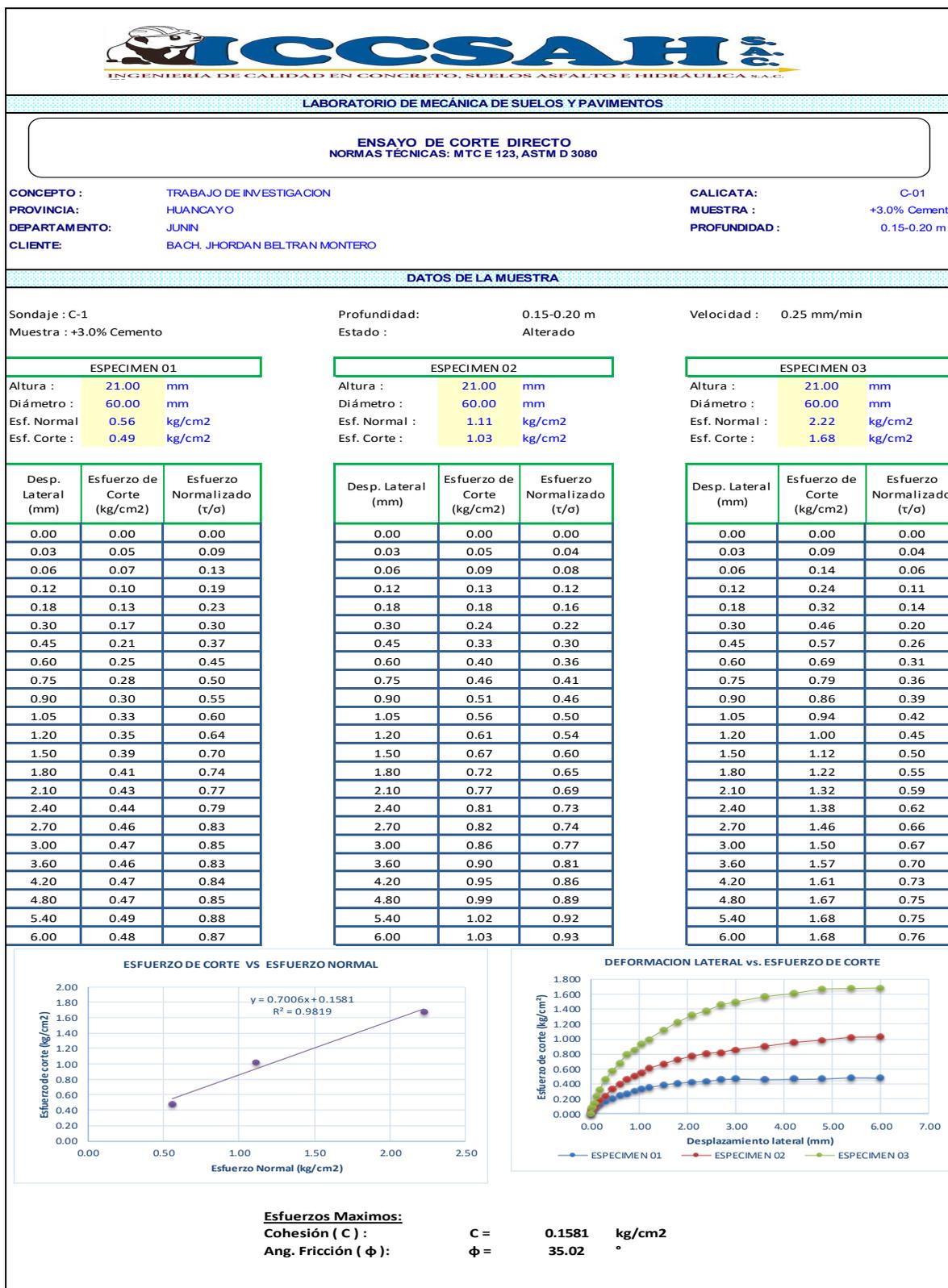
Fuente: ICCSAH SAC.

Figura 82: Ensayo de Corte Directo + 2.5% cemento (Muestra C-1).



Fuente: ICCSAH SAC.

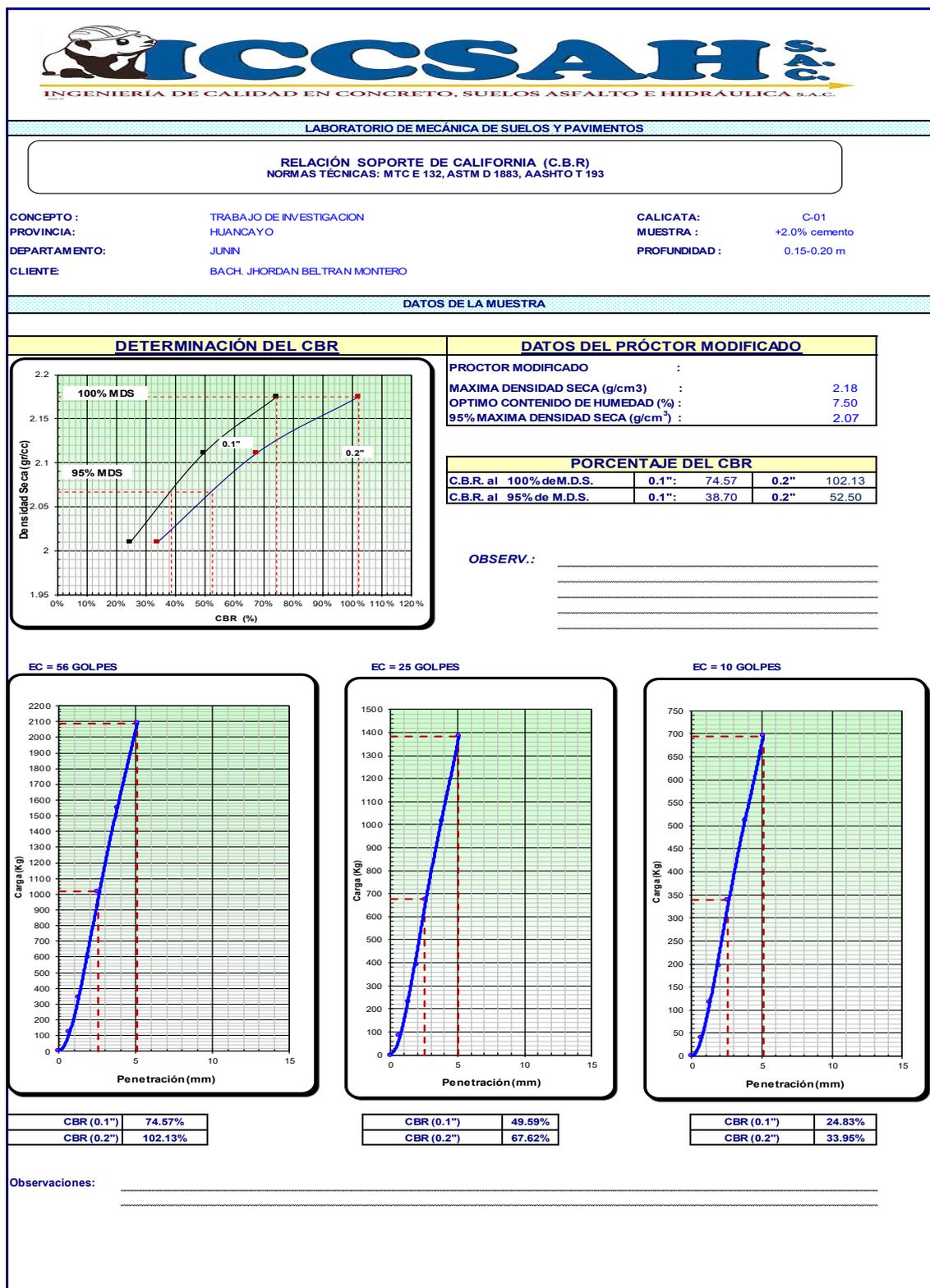
Figura 83: Ensayo de Corte Directo + 3.0% cemento (Muestra C-1).



Fuente: ICCSAH SAC.



Figura 85: Ensayo de Relación de Soporte de California CBR + 2.0% cemento (Muestra C-1).



Fuente: ICCSAH SAC.

Figura 86: Ensayo de Relación de Soporte de California CBR + 4.0% cemento (Muestra C-1).



**INGENIERÍA DE CALIDAD EN CONCRETO, SUELOS ASFALTO E HIDRÁULICA S.A.C.**

---

**LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y PAVIMENTOS**

---

**RELACIÓN SOPORTE DE CALIFORNIA (C.B.R)**  
 NORMAS TÉCNICAS: MTC E 132, ASTM D 1883, AASHTO T 193

---

<b>CONCEPTO :</b>	TRABAJO DE INVESTIGACION	<b>CALICATA:</b>	C-01
<b>PROVINCIA:</b>	HUANCAYO	<b>MUESTRA :</b>	+4.0% cemento
<b>DEPARTAMENTO:</b>	JUNIN	<b>PROFUNDIDAD :</b>	0.15-0.20m
<b>CLIENTE:</b>	BACH. JHORDAN BELTRAN MONTERO		

---

**DATOS DE LA MUESTRA**

---

**COMPACTACIÓN**

Molde N°	5	6	7
Capas N°	5	5	5
Golpes por capa N°	10	25	56
Condición de la muestra	<b>SATURADO</b>	<b>NO SATURADO</b>	<b>SATURADO</b>
Peso de molde + Suelo húmedo (g)	13214	12098	13275
Peso de molde + base (g)	8626	7286	8302
Peso del suelo húmedo (g)	4588	4812	4973
Volumen del molde (cm <sup>3</sup> )	2124	2124	2124
Densidad húmeda (g/cm <sup>3</sup> )	2.161	2.266	2.342
Tara (N°)	T11	T12	T13
Peso suelo húmedo + tara (g)	196.5	121.1	241.2
Peso suelo seco + tara (g)	185.2	117.5	229.3
Peso de tara (g)	34.0	67.6	67.6
Peso de agua (g)	11.3	3.6	11.9
Peso de suelo seco (g)	151.2	49.9	161.7
Contenido de humedad (%)	7.47	7.21	7.36
Densidad seca (g/cm <sup>3</sup> )	2.010	2.114	2.181

---

**PENETRACION**

PENETRACION mm	CARGA STAND. kg/cm <sup>2</sup>	MOLDE N° 10 G				MOLDE N° 25 G				MOLDE N° 56 G			
		CARGA		CORRECCION		CARGA		CORRECCION		CARGA		CORRECCION	
		Dial (div)	kg	kg	%	Dial (div)	kg	kg	%	Dial (div)	kg	kg	%
0.000			0			0					0		
0.635			44			97					135		
1.270			131			259					387		
1.905			219			440					670		
2.540	70.5		380	380.3	27.9	759	759.2	55.7			1142	1141.8	83.73
3.810			574			1141					1740		
5.080	105.7		780	779.8	38.1	1553	1553.2	75.9			2346	2346.0	114.7

---

Observaciones: \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

Fuente: ICCSAH SAC.

Figura 87: Ensayo de Relación de Soporte de California CBR + 4.0% cemento (Muestra C-1).



**ICCSAH SAC**  
INGENIERÍA DE CALIDAD EN CONCRETO, SUELOS ASFALTO E HIDRÁULICA S.A.C.

---

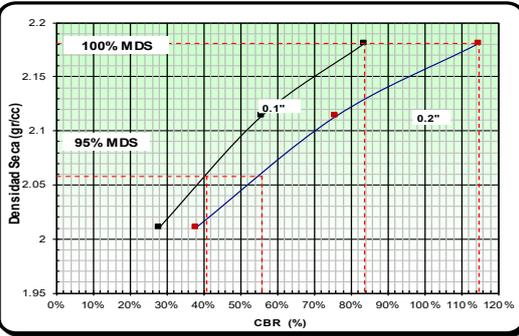
**LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y PAVIMENTOS**

**RELACIÓN SOPORTE DE CALIFORNIA (C.B.R)**  
NORMAS TÉCNICAS: MTC E 132, ASTM D 1883, AASHTO T 193

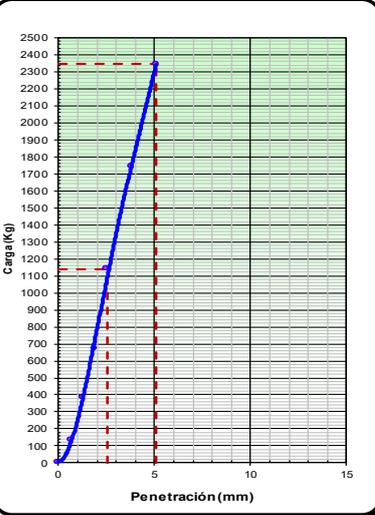
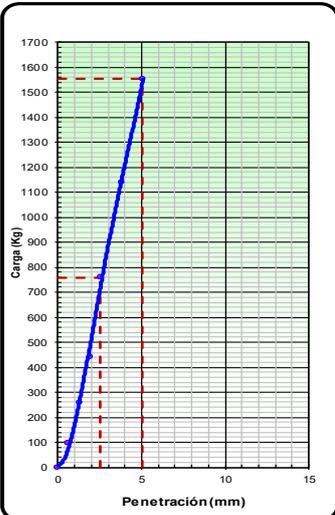
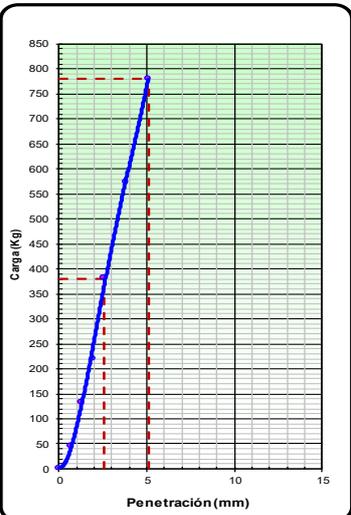
<b>CONCEPTO :</b>	TRABAJO DE INVESTIGACION	<b>CALICATA:</b>	C-01
<b>PROVINCIA:</b>	HUANCAYO	<b>MUESTRA :</b>	+4.0% cemento
<b>DEPARTAMENTO:</b>	JUNIN	<b>PROFUNDIDAD :</b>	0.15-0.20 m
<b>CLIENTE:</b>	BACH. JHORDAN BELTRAN MONTERO		

---

**DATOS DE LA MUESTRA**

DETERMINACIÓN DEL CBR		DATOS DEL PRÓCTOR MODIFICADO	
		<b>PROCTOR MODIFICADO :</b>	
		<b>MAXIMA DENSIDAD SECA (g/cm3) :</b>	2.17
		<b>OPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD (%) :</b>	7.50
		<b>95% MAXIMA DENSIDAD SECA (g/cm<sup>3</sup>) :</b>	2.06
PORCENTAJE DEL CBR			
C.B.R. al 100% de M.D.S.	0.1":	83.73	0.2" 114.67
C.B.R. al 95% de M.D.S.	0.1":	40.70	0.2" 55.80
<b>OBSERV.:</b> _____			
_____			
_____			
_____			

<b>EC = 56 GOLPES</b>	<b>EC = 25 GOLPES</b>	<b>EC = 10 GOLPES</b>												
														
<table border="1" style="margin: auto;"> <tr><td style="text-align: center;">CBR (0.1")</td><td style="text-align: center;">83.73%</td></tr> <tr><td style="text-align: center;">CBR (0.2")</td><td style="text-align: center;">114.67%</td></tr> </table>	CBR (0.1")	83.73%	CBR (0.2")	114.67%	<table border="1" style="margin: auto;"> <tr><td style="text-align: center;">CBR (0.1")</td><td style="text-align: center;">55.68%</td></tr> <tr><td style="text-align: center;">CBR (0.2")</td><td style="text-align: center;">75.92%</td></tr> </table>	CBR (0.1")	55.68%	CBR (0.2")	75.92%	<table border="1" style="margin: auto;"> <tr><td style="text-align: center;">CBR (0.1")</td><td style="text-align: center;">27.89%</td></tr> <tr><td style="text-align: center;">CBR (0.2")</td><td style="text-align: center;">38.12%</td></tr> </table>	CBR (0.1")	27.89%	CBR (0.2")	38.12%
CBR (0.1")	83.73%													
CBR (0.2")	114.67%													
CBR (0.1")	55.68%													
CBR (0.2")	75.92%													
CBR (0.1")	27.89%													
CBR (0.2")	38.12%													
<b>Observaciones:</b> _____														
_____														

Fuente: ICCSAH SAC.

Figura 88: Ensayo de Relación de Soporte de California CBR + 6.0% cemento (Muestra C-1).

 <b>LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y PAVIMENTOS</b>													
<b>RELACIÓN SOPORTE DE CALIFORNIA (C.B.R)</b> NORMAS TÉCNICAS: MTC E 132, ASTM D 1883, AASHTO T 193													
CONCEPTO :	TRABAJO DE INVESTIGACION				CALICATA:	C-01							
PROVINCIA:	HUANCAYO				MUESTRA :	+6.0% cemento							
DEPARTAMENTO:	JUNIN				PROFUNDIDAD :	0.15-0.20m							
CLIENTE:	BACH. JHORDAN BEL TRAN MONTERO												
DATOS DE LA MUESTRA													
COMPACTACIÓN													
Molde N°	5				6				7				
Capas N°	5				5				5				
Golpes por capa N°	10				25				56				
Condición de la muestra	SATURADO	NO SATURADO			SATURADO	NO SATURADO			SATURADO	NOSATURADO			
Peso de molde + Suelo húmedo (g)	13210				12106				13295				
Peso de molde + base (g)	8616				7272				8316				
Peso del suelo húmedo (g)	4594				4834				4979				
Volumen del molde (cm <sup>3</sup> )	2124				2124				2124				
Densidad húmeda (g/cm <sup>3</sup> )	2.163				2.276				2.345				
Tara (N°)	T11				T12				T13				
Peso suelo húmedo + tara (g)	175.5				145.1				221.2				
Peso suelo seco + tara (g)	165.9				139.8				210.8				
Peso de tara (g)	34.0				67.6				67.6				
Peso de agua (g)	9.6				5.3				10.4				
Peso de suelo seco (g)	131.9				72.2				143.2				
Contenido de humedad (%)	7.28				7.34				7.26				
Densidad seca (g/cm <sup>3</sup> )	2.017				2.121				2.186				
PENETRACION													
PENETRACION mm	CARGA STAND. kg/cm <sup>2</sup>	MOLDE N° 10 G				MOLDE N° 25 G				MOLDE N° 56 G			
		CARGA		CORRECCION		CARGA		CORRECCION		CARGA		CORRECCION	
		Dial (div)	kg	kg	%	Dial (div)	kg	kg	%	Dial (div)	kg	kg	%
0.000		0				0				0			
0.635		48				107				149			
1.270		145				285				426			
1.905		241				484				738			
2.540	70.5	419	418.9	30.7		836	836.4	61.3		1258	1257.8	92.24	
3.810		632				1257				1917			
5.080	105.7	859	859.1	42.0		1711	1711.1	83.6		2584	2584.4	126.3	
Observaciones: _____													

Fuente: ICCSAH SAC.

Figura 89: Ensayo de Relación de Soporte de California CBR + 6.0% cemento (Muestra C-1).



**ICCSAH S.A.C.**  
INGENIERÍA DE CALIDAD EN CONCRETO, SUELOS ASFALTO E HIDRÁULICA S.A.C.

---

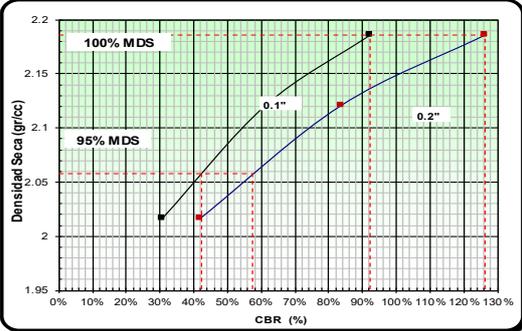
**LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y PAVIMENTOS**

**RELACIÓN SOPORTE DE CALIFORNIA (C.B.R)**  
NORMAS TÉCNICAS: MTC E 132, ASTM D 1883, AASHTO T 193

<b>CONCEPTO :</b>	TRABAJO DE INVESTIGACION	<b>CALICATA:</b>	C-01
<b>PROVINCIA:</b>	HUANCAYO	<b>MUESTRA :</b>	+6.0% cemento
<b>DEPARTAMENTO:</b>	JUNIN	<b>PROFUNDIDAD :</b>	0.15-0.20 m
<b>CLIENTE:</b>	BACH. JHORDAN BELTRAN MONTERO		

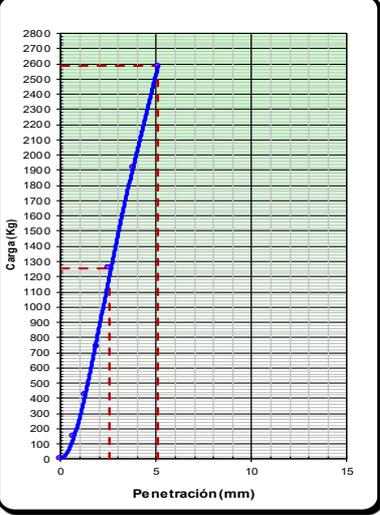
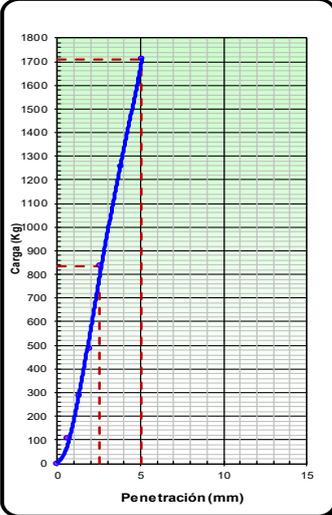
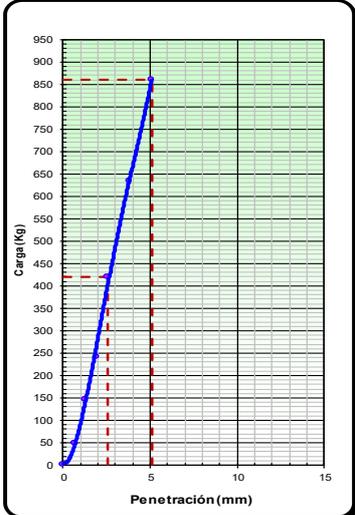
---

**DATOS DE LA MUESTRA**

DETERMINACIÓN DEL CBR		DATOS DEL PRÓCTOR MODIFICADO									
		<b>PROCTOR MODIFICADO</b> : <table border="0" style="width: 100%;"> <tr> <td>MAXIMA DENSIDAD SECA (g/cm<sup>3</sup>) :</td> <td style="text-align: right;">2.17</td> </tr> <tr> <td>OPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD (%) :</td> <td style="text-align: right;">7.50</td> </tr> <tr> <td>95% MAXIMA DENSIDAD SECA (g/cm<sup>3</sup>) :</td> <td style="text-align: right;">2.06</td> </tr> </table>				MAXIMA DENSIDAD SECA (g/cm <sup>3</sup> ) :	2.17	OPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD (%) :	7.50	95% MAXIMA DENSIDAD SECA (g/cm <sup>3</sup> ) :	2.06
		MAXIMA DENSIDAD SECA (g/cm <sup>3</sup> ) :	2.17								
OPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD (%) :	7.50										
95% MAXIMA DENSIDAD SECA (g/cm <sup>3</sup> ) :	2.06										
<b>PORCENTAJE DEL CBR</b>											
C.B.R. al 100% de M.D.S.		0.1":	92.24	0.2"	126.33						
C.B.R. al 95% de M.D.S.		0.1":	42.20	0.2"	57.20						

**OBSERV.:** \_\_\_\_\_

---

EC = 56 GOLPES	EC = 25 GOLPES	EC = 10 GOLPES												
														
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td>CBR (0.1")</td> <td style="text-align: right;">92.24%</td> </tr> <tr> <td>CBR (0.2")</td> <td style="text-align: right;">126.33%</td> </tr> </table>	CBR (0.1")	92.24%	CBR (0.2")	126.33%	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td>CBR (0.1")</td> <td style="text-align: right;">61.33%</td> </tr> <tr> <td>CBR (0.2")</td> <td style="text-align: right;">83.64%</td> </tr> </table>	CBR (0.1")	61.33%	CBR (0.2")	83.64%	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td>CBR (0.1")</td> <td style="text-align: right;">30.72%</td> </tr> <tr> <td>CBR (0.2")</td> <td style="text-align: right;">41.99%</td> </tr> </table>	CBR (0.1")	30.72%	CBR (0.2")	41.99%
CBR (0.1")	92.24%													
CBR (0.2")	126.33%													
CBR (0.1")	61.33%													
CBR (0.2")	83.64%													
CBR (0.1")	30.72%													
CBR (0.2")	41.99%													

**Observaciones:** \_\_\_\_\_

Fuente: ICCSAH SAC.

Figura 90: Ensayo de Relación de Soporte de California CBR + 8.0% cemento (Muestra C-1).



**INGENIERÍA DE CALIDAD EN CONCRETO, SUELOS ASFALTO E HIDRÁULICA S.A.C.**

---

**LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y PAVIMENTOS**

---

**RELACIÓN SOPORTE DE CALIFORNIA (C.B.R)**  
 NORMAS TÉCNICAS: MTC E 132, ASTM D 1883, AASHTO T 193

---

<b>CONCEPTO :</b>	TRABAJO DE INVESTIGACION	<b>CALICATA:</b>	C-01
<b>PROVINCIA:</b>	HUANCAYO	<b>MUESTRA :</b>	+8.0% cemento
<b>DEPARTAMENTO:</b>	JUNIN	<b>PROFUNDIDAD :</b>	0.15-0.20m
<b>CLIENTE:</b>	BA CH. JHORDAN BELTRAN MONTERO		

---

**DATOS DE LA MUESTRA**

---

**COMPACTACIÓN**

Molde N°	5	6	7
Capas N°	5	5	5
Golpes por capa N°	10	25	56

Condición de la muestra	SATURADO	NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO	SATURADO	NOSATURADO
Peso de molde + Suelo húmedo (g)	13197		12089		13341	
Peso de molde + base (g)	8618		7297		8375	
Peso del suelo húmedo (g)	4579		4792		4966	
Volumen del molde (cm <sup>3</sup> )	2124		2124		2124	
Densidad húmeda (g/cm <sup>3</sup> )	2.156		2.257		2.339	
Tara (N°)	T11		T12		T13	
Peso suelo húmedo + tara (g)	186.5		185.4		207.8	
Peso suelo seco + tara (g)	175.9		177.2		198.2	
Peso de tara (g)	34.0		67.6		67.6	
Peso de agua (g)	10.6		8.2		9.6	
Peso de suelo seco (g)	141.9		109.6		130.6	
Contenido de humedad (%)	7.47		7.48		7.35	
Densidad seca (g/cm <sup>3</sup> )	2.006		2.100		2.178	

---

**PENETRACION**

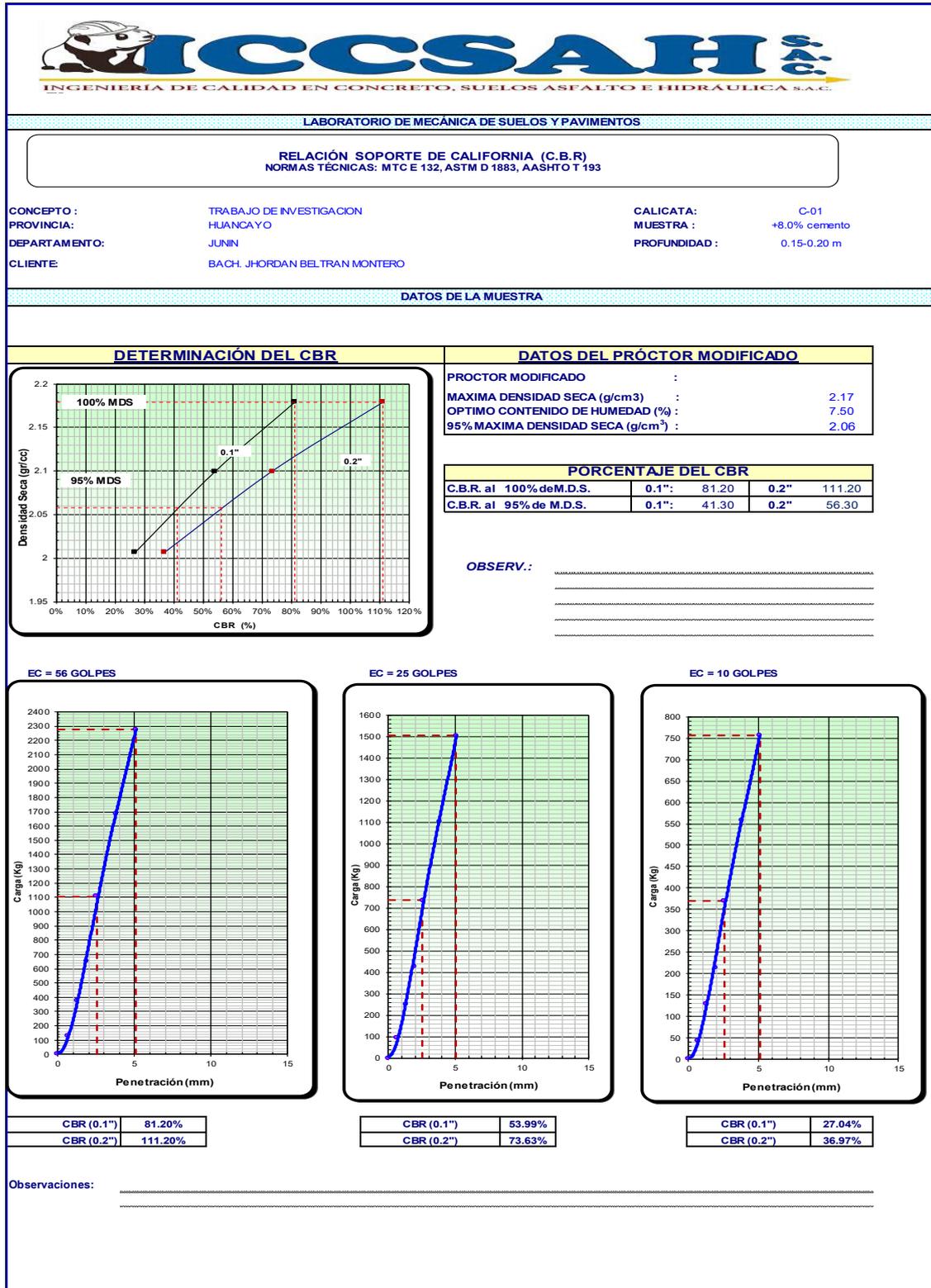
PENETRACION mm	CARGA STAND. kg/cm <sup>2</sup>	MOLDE N° 10 G				MOLDE N° 25 G				MOLDE N° 56 G			
		CARGA		CORRECCION		CARGA		CORRECCION		CARGA		CORRECCION	
		Dial (div)	kg	kg	%	Dial (div)	kg	kg	%	Dial (div)	kg	kg	%
0.000			0			0					0		
0.635			43			94					131		
1.270			128			251					375		
1.905			213			426					650		
2.540	70.5		369	368.8	27.0	736	736.3	54.0			1107	1107.3	81.20
3.810			556			1106					1688		
5.080	105.7		756	756.3	37.0	1506	1506.3	73.6			2275	2275.0	111.2

Observaciones: \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

Fuente: ICCSAH SAC.

Figura 91: Ensayo de Relación de Soporte de California CBR + 8.0% cemento (Muestra C-1).



Fuente: ICCSAH SAC.