



Capítulo III: Metodología

3.1. Metodología de la investigación

3.1.1. Tipo de investigación

La investigación es de tipo CUANTITATIVO, porque los resultados que se recolectaron son datos numéricos de las muestras, de suelo natural y de suelo cemento, que se estudiaron (Hernández Sampieri, Fernández Collado, & Baptista Lucio, Metodología de la investigación. Cuarta edición, 2006).

3.1.2. Nivel de investigación

La investigación es DESCRIPTIVA, porque se pretendió describir información sobre muestras de suelo natural y suelo adicionado con cemento, como, la resistencia de estos y su influencia en el diseño de pavimentos rígidos (Hernández Sampieri, Fernández Collado, & Baptista Lucio, 2006).

3.1.3. Método de investigación

En la presente investigación se usa el método HIPOTÉTICO DEDUCTIVO, porque se partió de hipótesis, las cuales, se buscaron demostrar mediante la ejecución de ensayos de laboratorio, en muestras de suelo natural y de suelo cemento, y cálculos y diseños de gabinete (Monje Álvarez, 2011).

3.2. Diseño de la investigación

3.2.1. Diseño metodológico

La presente investigación presenta un diseño EXPERIMENTAL, debido a que se tiene un patrón (suelo natural) que se modifica (añadiendo cemento), para luego, estudiar ambos (Hernández Sampieri, Fernández Collado, & Baptista Lucio, 2010).

3.2.2. Diseño de ingeniería

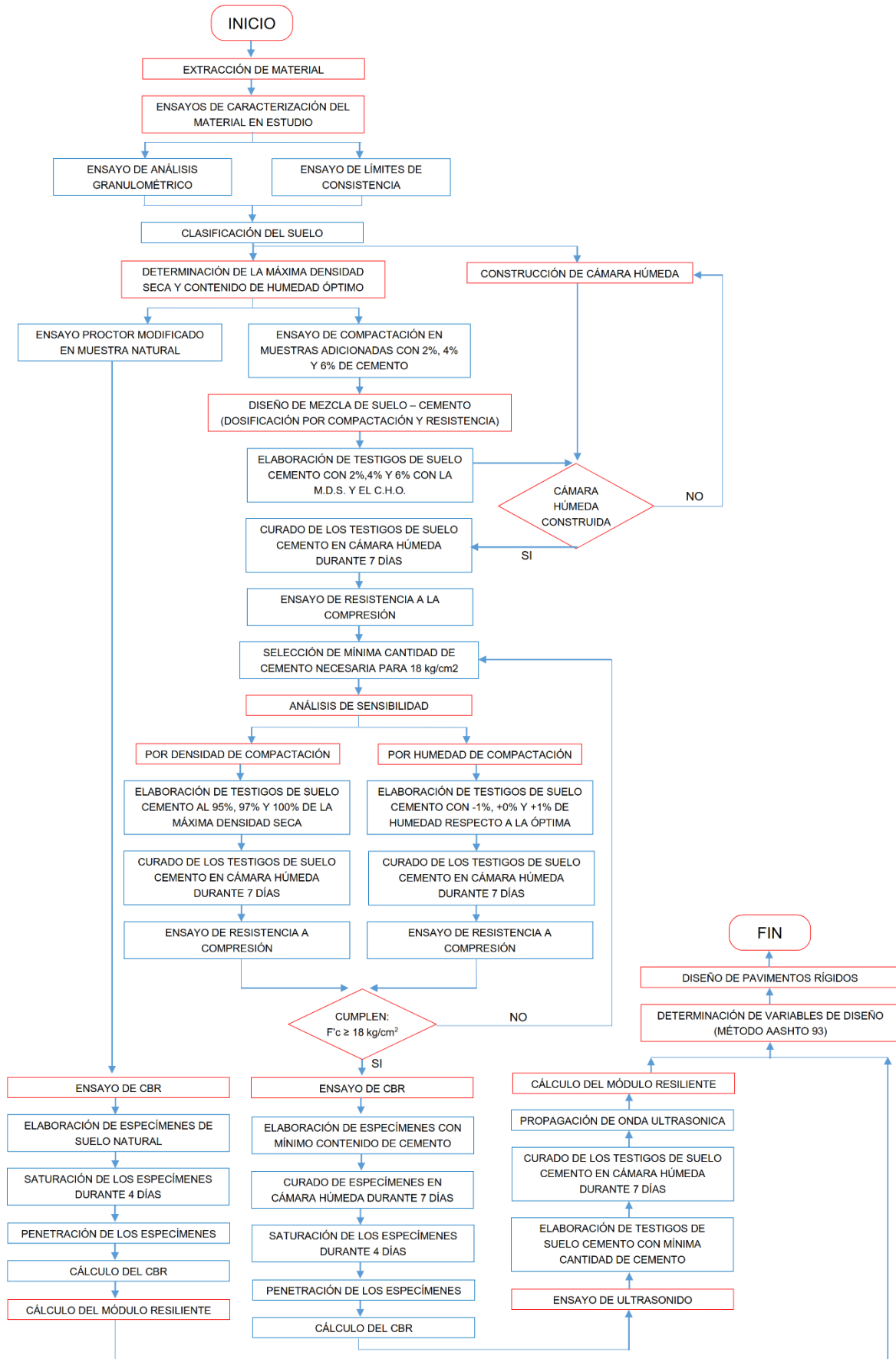


Figura 35 – Diseño de ingeniería



3.3. Población y muestra

3.3.1. Población

3.3.1.1. Descripción de la población

La población está conformada por el suelo de la cantera de Quillahuata, en estado natural y mezclado con cemento, y diseños de pavimento rígido para tráfico de 150,000 a 7,500,000 de ESALs, utilizando estos suelos (no mezclado y mezclado con cemento) como subbase.

3.3.1.2. Cuantificación de la población

La población se cuantifica como el total del suelo de la cantera de Quillahuata, no mezclado y mezclado con cemento, y los diseños de pavimento rígido para los tráfico comprendidos entre 150,000 y 7,500,000 de ESALs, utilizando estos suelos (no mezclado y mezclado con cemento) como subbase.

3.3.2. Muestra

3.3.2.1. Descripción de la muestra

La muestra está compuesta por especímenes del suelo de la cantera de Quillahuata en estado natural y mezclado con cemento, y diseños de pavimento rígido para tráfico de 150,000 a 7,500,000 de ESALs, utilizando estos suelos (no mezclado y mezclado con cemento) como subbase.

3.3.2.2. Cuantificación de la muestra

La muestra se cuantifica por 203 muestras (como se muestra en la Tabla 30) que se ensayaron para determinar las propiedades del suelo, no mezclado y mezclado con cemento, y 1472 diseños de pavimento rígido, para realizar un análisis de sensibilidad del espesor de la losa a requerir en función del tráfico.

Tabla 30 - Cantidad de muestras estudiadas

Ensayos en suelo natural		N° de muestras por ensayo	N° de ensayos	N° de muestras
Análisis Granulométrico		1	3	3
Límite Líquido		4	1	4
Límite Plástico		4	1	4
Absorción de agregados		1	3	3
Humedad Higroscópica		3	5	15
Ensayo de Compactación (Proctor Modificado)		4	6	24
CBR		3	3	9
Sub total			22	62
Ensayos en suelo-cemento		N° de muestras por ensayo	N° de ensayos	N° de muestras
Ensayo de Compactación (Relación Humedad-Densidad)	2% de cemento	4	6	24
	4% de cemento	4	6	24
	6% de cemento	4	6	24
Resistencia a compresión (Mínima cantidad de cemento)	2% de cemento	1	6	6
	4% de cemento	1	6	6
	6% de cemento	1	6	6
Resistencia a compresión (Sensibilidad por la humedad de compactación)	Humedad -1% del óptimo	1	6	6
	Humedad óptima	1	6	6
	Humedad +1% del óptimo	1	6	6
Resistencia a compresión (Sensibilidad por la densidad de compactación)	95% de la Máx. Dens. Seca	1	6	6
	98% de la Máx. Dens. Seca	1	6	6
	100% de la Máx. Dens. Seca	1	6	6
CBR		3	3	9
Velocidad de pulso de ultrasonido		1	6	6
Sub total			81	141
Total			103	203

Tipo de Subbase	Cantidad de diseños
De suelo natural	736
De suelo-cemento	736
Total	1472

3.3.2.3. Método de muestreo

El método de muestreo fue NO PROBABILÍSTICO, porque la elección de la cantidad de muestras no dependió de la probabilidad, sino, se realizó en base a la repetitividad de los resultados de los ensayos, la importancia de estos y la accesibilidad a ellos (Hernández Sampieri, Fernández Collado & Baptista Lucio, 2006).

3.3.2.4. Criterios de evaluación de muestra

La muestra se evaluó por medio de los siguientes ensayos de laboratorio:

- Análisis granulométrico (MTC E 107)
- Límite líquido (MTC E 110)
- Límite plástico (MTC E 111)
- Absorción de agregados (MTC E 206)
- Humedad higroscópica (MTC E 107)



- Proctor Modificado (MTC E 115)
- CBR (MTC E 132)
- Relación Humedad-Densidad (Suelo cemento) (MTC E 1102)
- Preparación de testigos de suelo cemento (MTC E 1101)
- Resistencia a la compresión de testigos de suelo cemento (MTC E 1103)
- Velocidad de pulso de ultrasonido (ASTM D 2845)

Y, por medio de diseños de pavimento rígido según la metodología AASHTO 93.

3.3.3. Criterios de inclusión

La población y muestra cumple los siguientes criterios:

- Material de la cantera de Quillahuata en estado natural compactado y sin compactar.
- Mezclas de suelo-cemento compactadas elaborados con el material de la cantera de Quillahuata y cemento Portland Tipo IP.
- Mezclas de suelo-cemento compactados elaborados con el material de la cantera de Quillahuata y cemento Portland Tipo IP, a 7 días de curado.
- Tráficos entre 150,000 y 7,500,000 de ESALs.

3.4. Instrumentos

3.4.1. Instrumentos metodológicos

Los instrumentos metodológicos que se utilizaron en la investigación fueron formatos de recolección y procesamiento de datos, estos se describen a continuación:

- Formato N° 01 – Ensayo de análisis granulométrico (MTC E 107)
- Formato N° 02 – Ensayos de límite líquido y límite plástico (MTC E 110 y 111)
- Formato N° 03 – Ensayo de proctor modificado (MTC E 115)
- Formato N° 04 – Ensayo de absorción de agregados (MTC E 206)
- Formato N° 05 – Ensayo de humedad higroscópica (MTC E 107)
- Formato N° 06 – Ensayo de relaciones humedad-densidad (suelo cemento) (MTC E 1102)
- Formato N° 07 – Ensayo de elaboración de testigos de suelo cemento (ASTM D1632 y ASTM D559)
- Formato N° 08 – Ensayo de resistencia a la compresión de testigos de suelo cemento (MTC E 1103)
- Formato N° 09 – Ensayo de CBR (MTC E 132)

3.4.2. Instrumentos de ingeniería

Los instrumentos de ingeniería utilizados en la investigación fueron los equipos y herramientas necesarios para realizar los ensayos.

Los instrumentos utilizados para los ensayos en suelo natural se observan en las Tablas 31, 32, 33, 34, 35, 36 y 37.

Tabla 31 - Instrumentos de ingeniería para el ensayo de análisis granulométrico

Instrumentos de ingeniería para el ensayo de análisis granulométrico			
Balanza	Balanza de precisión	Juego de tamices	Cepillo metálico

Tabla 32 - Instrumentos de ingeniería para el ensayo de límite plástico

Instrumentos de ingeniería para el ensayo de límite plástico			
Vasija de porcelana	Copa de Casagrande	Acanalador	Balanza de precisión
Horno	Espátula	Tamiz N° 40	Taras

Tabla 33 - Instrumentos de ingeniería para el ensayo de límite líquido

Instrumentos de ingeniería para el ensayo de límite líquido			
Vidrio esmerilado	Taras	Balanza de precisión	Horno

Tabla 34 - Instrumentos de ingeniería para el ensayo de absorción de agregados

Instrumentos de ingeniería para el ensayo de absorción de agregados			
Fanelas	Bandeja	Balanza	Horno

Tabla 35 - Instrumentos de ingeniería para el ensayo de humedad higroscópica

Instrumentos de ingeniería para el ensayo de humedad higroscópica			
			
Cucharon	Recipiente metálico	Horno	Balanza

Tabla 36 - Instrumentos de ingeniería para el ensayo de proctor modificado












Instrumentos de ingeniería para el ensayo de proctor modificado			
			
Molde de 6''	Pisón	Extractor	Balanza
			
Recipiente metálico	Horno	Tamiz de 3/4''	Herramientas manuales

Tabla 37 - Instrumentos de ingeniería para el ensayo de CBR de suelo natural

Instrumentos de ingeniería para el ensayo de CBR de suelo natural			
			
Molde de CBR	Pisón	Disco espaciador	Tina de agua
			
Juego de pesas	Trípode y deformímetro	Prensa de CBR	Herramientas manuales

Los instrumentos utilizados para los ensayos en suelo cemento se observan en las Tablas 38, 39, 40, 41 y 42.

Tabla 38 - Instrumentos de ingeniería para el ensayo de relación humedad-densidad (suelo cemento)

Instrumentos de ingeniería para el ensayo de relación humedad-densidad (suelo cemento)			
			
Molde de 6''	Pisón	Extractor	Balanza

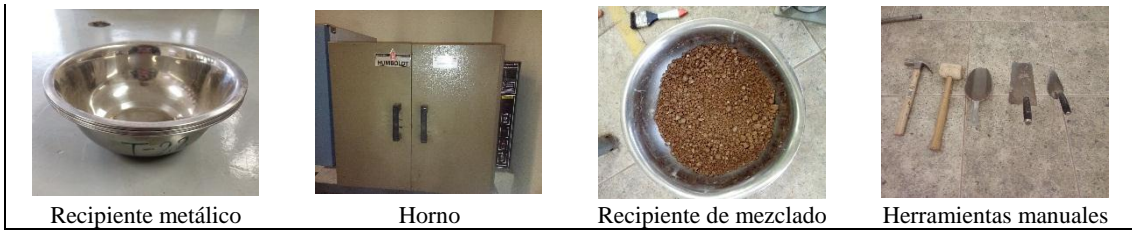


Tabla 39 - Instrumentos de ingeniería para el ensayo de preparación de testigos de suelo cemento



Tabla 40 - Instrumentos de ingeniería para el ensayo de resistencia a la compresión de testigos de suelo cemento



Tabla 41 - Instrumentos de ingeniería para el ensayo de CBR de suelo cemento

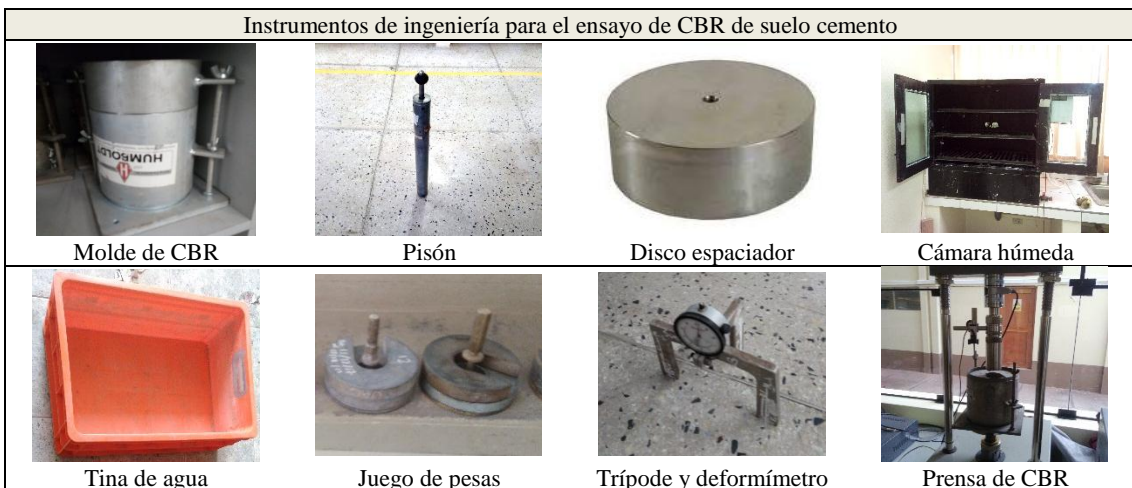


Tabla 42 - Instrumentos de ingeniería para el ensayo de velocidad de pulso ultrasónico

Instrumentos de ingeniería para el ensayo de velocidad de pulso ultrasónico			
			
Vernier	Balanza	Pundit PL-200	Gel de acoplamiento

3.5. Procedimientos de recolección de datos

El procedimiento para la recolección de los datos fue el siguiente:

1. Caracterización del suelo.
2. Selección de mínima cantidad de cemento.
3. Análisis de sensibilidad de la mezcla de suelo cemento.
4. Valor relativo de soporte.
5. Método del ultrasonido.
6. Diseño del Pavimento.

3.5.1. Caracterización del material

3.5.1.1. Extracción de material de cantera

La cantera de Quillahuata se encuentra a $13^{\circ}30'22.83''$ latitud Sur y a $71^{\circ}56'11.01''$ longitud oeste, a 20 minutos de la ciudad del Cusco. Esta cuenta con 2 accesos, uno al sur, entre el 3° y 4° paradero de la San Sebastián de la ciudad del Cusco, y otro al norte, en el km 5+200 de la carretera Enaco – Pumamarca.

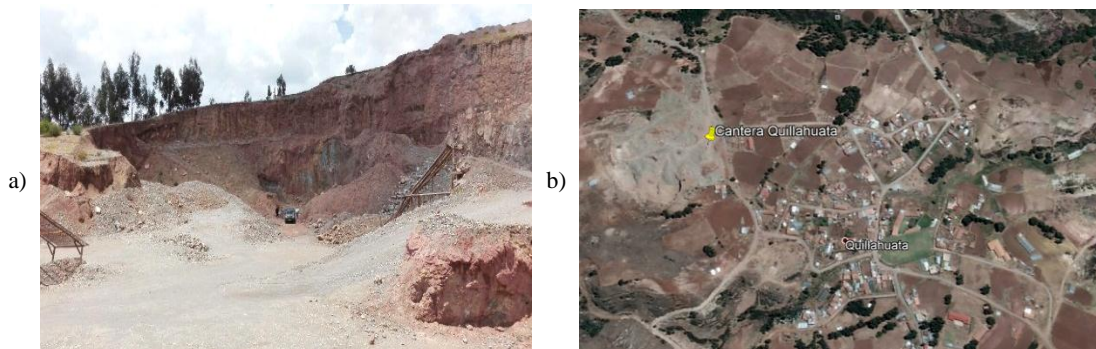


Figura 36 – Cantera de Quillahuata “a)” y su vista aérea “b)”

De la carta geológica de Cusco (hoja 28-s-IV) emitida por el Instituto Geológico Minero y Metalúrgico (INGEMMET), se puede observar que la cantera pertenece a la formación Chinchero, en la cual, predominan las brechas torrenciales con clastos de calizas (ver Apéndices B y C, págs. 199 y 200).

3.5.1.2. Análisis granulométrico

Se obtuvieron 3 muestras por cuarteo, de aproximadamente 7 kg cada una; estas se secaron y se tomaron sus pesos. Posteriormente se lavaron por la malla N°200 y se secaron, registrando los nuevos pesos. Las tamizamos por el juego de tamices recomendados por la MTC E 105, incluyendo en ellos los tamices de 2", N° 10 y N° 40, y tomamos el peso de la porción de suelo retenida en cada tamiz.



Figura 37 – a) Tamizado manual de la muestra y b) Porciones de las muestras retenidas en el tamizado

Las muestras se identificaron como AG – 1, AG – 2 y AG – 3.

3.5.1.3. Límite líquido

Se obtuvo una muestra, alrededor de 200 gr, de material pasante por el tamiz N° 40, se humedeció con agua destilada y se mezcló.

Luego se colocó una porción en la cuchara de Casagrande (previamente calibrada) y se esparció formando una superficie aproximadamente horizontal, para luego dividirla en dos con ayuda del acanalador y levantar y soltar (1 golpe) la cuchara de Casagrande, girando el manubrio del equipo a una velocidad de dos golpes por segundo, hasta que las mitades tengan un contacto de 13 mm. Se tomó una tajada de la muestra, en la zona en la cual se deslizó, la colocamos en un recipiente de peso conocido y pesamos el conjunto para luego determinar su contenido de humedad.

Registramos el número de golpes para el cierre y mezclamos nuevamente toda la muestra añadiendo un poco de agua destilada, para aumentar su contenido de humedad y disminuir el número de golpes necesarios para cerrar la ranura.

Se repitió el proceso, desde el colocado de la muestra, hasta obtener tres pruebas adicionales. Produciendo al final, números de golpes necesarios para el cierre de la ranura que varíen 7 ± 1 golpes, uno respecto al otro, y entre un rango de 10 a 35 golpes.

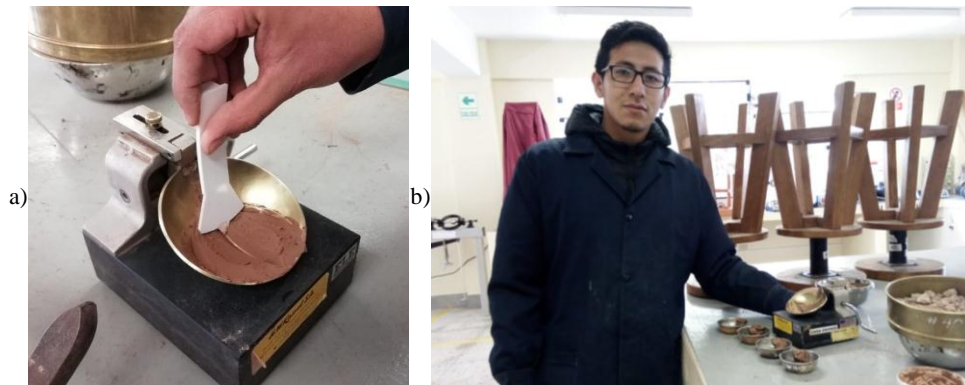


Figura 38 – a) División de la muestra colocada con ayuda del acanalador y b) Muestras del ensayo para determinar sus contenidos de humedad

3.5.1.4. Límite plástico

Se obtuvo una muestra, alrededor de 20 gr, de suelo pasante por el tamiz N° 40, se mezcló con agua destilada hasta poder formarse una esfera con la masa, se tomó una porción de 1.5 gr a 2 gr, se moldeó en forma de elipsoide y luego se rodó, el elipsoide, con los dedos para formar un cilindro.

Si antes de llegar a un cilindro de 3.2 mm de diámetro no se desmoronaba, se volvía a hacer un elipsoide y se repetía el proceso, hasta que se desmorone a dicho diámetro.

Se repitió el proceso hasta reunir cuatro muestras de 6 gr, cada una. Las cuales, se colocaron en recipientes de pesos conocidos para luego determinar sus contenidos de humedad.

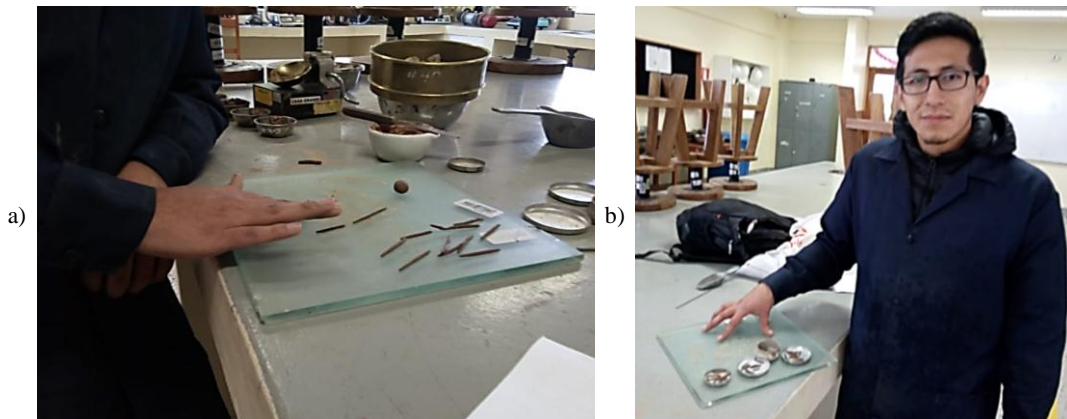


Figura 39 – a) Elaboración de cilindros de 3.2 mm de diámetro verificando su desmoronamiento y b) Muestras del ensayo para determinar sus contenidos de humedad

3.5.1.5. Proctor Modificado

El suelo utilizado fue secado al aire, disgregado y tamizado por el tamiz de $\frac{3}{4}$ ". Luego, tomamos porciones, de 5.9 kg, de suelo pasante para compactar cada espécimen.

Se prepararon 4 especímenes, para cada grupo de ensayo, que se compactaron con contenidos de agua cercanos al óptimo estimado, determinando este último previamente por medio de una

práctica visual, dos al lado seco y dos al lado húmedo del óptimo, para definir la curva de compactación.

El método seleccionado para la compactación fue el Método C (ver Tabla 26, pág. 50), por lo cual, se realizó en el molde de 6" con 56 golpes por capa en 5 capas. Luego de la compactación, se enrazó el espécimen y se pesó, para posteriormente remover el suelo del molde y tomar una muestra, no menor a 500 gr. Para finalizar, esta muestra fue secada, en el horno, y pesada.



Figura 40 – a) Rellenado, con material fino, luego del enrasado del espécimen compactado y b) Pesado de cada espécimen compactado de la muestra PM – 03

En total se compactaron 24 especímenes, los cuales, se agruparon en 6 grupos de ensayo. Estos grupos de ensayo se identificaron como PM – n ($n = [1 - 6]$).

3.5.1.6. Absorción del agregado

Para el ensay, el material fue secado al aire, disgregado y tamizado por el tamiz de $\frac{3}{4}$ " (desechando lo retenido). Luego, el material pasante se tamizó por el tamiz N°4 y, lo retenido, se lavó en el tamiz N°4 para luego sumergirlo en agua por 24h. Posteriormente, se retiró el agregado del agua y se secó superficialmente, con ayuda de una franela, para luego, obtener 3 muestras de 3 kg aproximadamente, cada una, y tomar sus pesos. Después, estas muestras fueron secadas en el horno, y se tomaron sus nuevos pesos.



Figura 41 – Lavado y saturado del agregado pasante el tamiz de $\frac{3}{4}$ " y retenido en el tamiz N°4

3.5.1.7. Humedad higroscópica

Para determinar la humedad higroscópica, el suelo se secó al aire, se disgregaron sus terrones y se tamizaron por el tamiz N°4. Seguidamente, se tomaron 3 muestras representativas del material fino pasante y se secaron al horno, registrando los pesos antes y después del secado en el horno.

El procedimiento se repitió para cinco grupos de suelo (Tabla 43), secados al aire en distintas fechas.

Tabla 43 - Grupos de material usados para ensayos de suelo cemento

Grupo 1	Ensayo Relación Humedad-Densidad (Suelo Cemento)
Grupo 2	Elaboración de testigos de suelo cemento para determinar la mínima cantidad de cemento
Grupo 3	Elaboración de testigos de suelo cemento para analizar la sensibilidad por humedad de compactación
Grupo 4	Elaboración de testigos de suelo cemento para analizar la sensibilidad por densidad de compactación
Grupo 5	Elaboración de testigos de suelo cemento para determinar la velocidad de propagación de ondas ultrasónicas



Figura 42 – Toma de muestras de material fino secado al aire para determinar su contenido de humedad higroscópica

3.5.2. Selección de mínima cantidad de cemento

3.5.2.1. Preparación del material

El suelo fue secado al aire, disgregado y tamizado por el tamiz de $\frac{3}{4}$ " (desechando el material retenido) y por el tamiz N°4. El agregado retenido en el tamiz N°4 fue lavado y sumergido en agua, para luego, ser utilizado en condición saturada superficialmente seca. El material fino pasante del tamiz N°4 fue colocado en sacos, con un plástico dentro, para evitar que el material fino pierda o gane humedad.

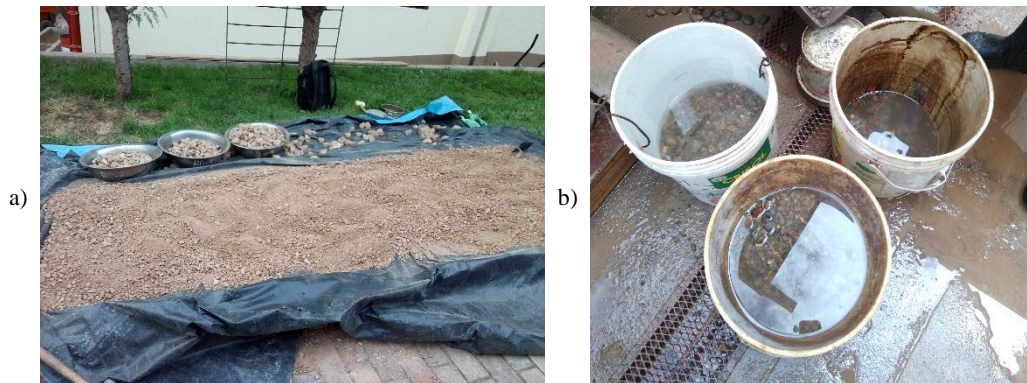


Figura 43 – a) Secado al aire del material disgregado pasante del tamiz de $\frac{3}{4}$ " y b) Saturado del agregado lavado pasante del tamiz de $\frac{3}{4}$ " y retenido en el tamiz N°4

3.5.2.2. Relación humedad-densidad (suelo cemento)

Para realizar el ensayo se determinaron las proporciones de agregado, material fino y cemento a mezclarse. Esto, en base a la granulometría, la absorción del agregado y la humedad higroscópica del material fino, como se muestra a continuación:

- $Densidad\ seca\ sin\ cemento = \frac{Densidad\ seca\ base}{1 + Contenido\ de\ cemento}$
- $Peso\ de\ suelo\ para\ el\ espécimen\ (A) = Densidad\ seca\ sin\ cemento * Volumen\ del\ molde$
- $Peso\ de\ suelo\ para\ el\ incremento\ por\ manipulación\ (B) = Peso\ suelo\ para\ el\ espécimen * 0.1$
- $Peso\ de\ suelo\ para\ muestras\ de\ contenido\ de\ humedad\ (C) = 4 * 500\ gr$
- $Peso\ total\ de\ suelo\ seco = A + B + C$
- $Peso\ de\ agregado\ seco = Peso\ total\ de\ suelo\ seco * Porcentaje\ agregado$
- $Peso\ de\ material\ fino\ seco = Peso\ total\ de\ suelo\ seco * Porcentaje\ material\ fino$
- $Peso\ de\ cemento = Peso\ total\ de\ suelo\ seco * Contenido\ de\ cemento$
- $Peso\ de\ agregado\ saturado\ superficialmente\ seco = Peso\ agregado\ seco * (1 + Absorción)$
- $Peso\ de\ material\ fino\ secado\ al\ aire = Peso\ material\ fino\ seco * (1 + Humedad\ higroscópica)$

Para la densidad seca base se consideró la densidad seca promedio del ensayo de Proctor Modificado del suelo natural.

La Tabla 44 muestra los cálculos de los pesos de los materiales necesarios para mezclas con 2%, 4% y 6% de cemento.

Tabla 44 - Cálculo de pesos para el ensayo Relación Humedad-Densidad (Suelo Cemento)

Contenido de cemento de cemento (%)	2%	4%	6%
Densidad seca base (gr/cm3)	2.143	2.143	2.143
Material retenido en el tamiz N°4 (%)	37.92%	37.92%	37.92%
Absorción del agregado (%)	2.87%	2.87%	2.87%
Humedad higroscópica del material fino (%)	6.73%	6.73%	6.73%
Volumen del molde (cm3)	942.18	942.18	942.18
Densidad seca sin cemento (gr/cm3)	2.101	2.060	2.021
Peso de suelo para el espécimen (gr)	1979.20	1941.14	1904.52
Peso de suelo para el incremento por manipulación (gr)	197.92	194.11	190.45
Peso de suelo para muestras de contenido de humedad (gr)	2000.00	2000.00	2000.00
Peso total del suelo seco (gr)	4177.12	4135.25	4094.97
Peso de agregado seco (gr)	1584.11	1568.23	1552.96
Peso de material fino (gr)	2593.01	2567.02	2542.01
Peso de cemento (gr)	83.54	165.41	245.70
Peso de agregado saturado superficialmente seco (gr)	1629.64	1613.31	1597.59
Peso de material fino secado al aire (gr)	2767.52	2739.78	2713.09

En el ensayo, primeramente, se mezcló el material fino con el cemento y se añadió agua, en caso de ser necesario. Con un batido energético se distribuyó la humedad en toda la mezcla, se añadió el agregado en condición saturada superficialmente seca; y se mezcló el conjunto.

Luego, se compactó la mezcla en un molde de 4” de diámetro y 4.584” de altura, aproximadamente, con 25 golpes por capa, en 5 capas, y se enrasó, regresando a la mezcla compactada aquellos agregados, de los cuales, sobresalga ligeramente sus esquinas.

Posteriormente, tomamos el peso de la muestra húmeda compactada, removemos la mezcla del molde, extrayendo una porción no menor a 500 gr para determinar su contenido de humedad, disgregamos la mezcla removida y mezclamos nuevamente con toda la mezcla remanente. Repetimos el procedimiento hasta que el peso de la muestra húmeda compactada en el molde disminuya.



Figura 44 – a) Compactado del espécimen con energía equivalente a la de Proctor Modificado y b) Extracción de porción de suelo compactado para determinar el contenido de humedad

El procedimiento se repitió 24 veces, 4 muestras por grupo de ensayo, y 6 grupos para cada porcentaje de cemento (2%, 4% y 6%) adicionado. Los grupos se identificaron de la siguiente forma:

- RHD – 2 – n ($n = [1 - 6]$) para 2% de cemento.
- RHD – 4 – n ($n = [1 - 6]$) para 4% de cemento.
- RHD – 6 – n ($n = [1 - 6]$) para 6% de cemento.

3.5.2.3. Construcción de cámara húmeda

La cámara húmeda se construyó para brindar un adecuado curado a los testigos de suelo cemento, de los cuales, la mayoría se ensayaron a compresión y los otros se utilizaron para determinar la velocidad de propagación de ondas ultrasónicas, y a los especímenes de suelo cemento del ensayo de CBR. Esta cámara húmeda cumple los requerimientos del ensayo MTC E 1101 y evita posibles inconvenientes en la ganancia de resistencia de la mezcla de suelo cemento, así también, evita su agrietamiento.

La cámara húmeda esta hecha de acero galvanizado y consta de dos ambientes (ver Figura 45), el primero contiene el agua que se utiliza para generar el vapor y el segundo contiene 3 parrillas de acero galvanizado, los cuales, se colocaron para soportar las muestras elaboradas.



Figura 45 – Cámara húmeda

La cámara consta con dos sensores, uno de humedad relativa y temperatura, para controlar las condiciones del ambiente en donde se colocaron las muestras, y otro de temperatura, dentro del agua, que ayudara a controlar la generación de vapor. Además, el primer ambiente consta con un humidificador que genera vapor frio, el cual, es dirigido hacia la parte superior por medio de ventiladores. Estos, también se encargan de mantener un flujo constante de aire dentro de la cámara.

La cantidad de agua se reguló por medio de una bolla, la cual, controla el ingreso de agua hasta alcanzar el nivel regulado.

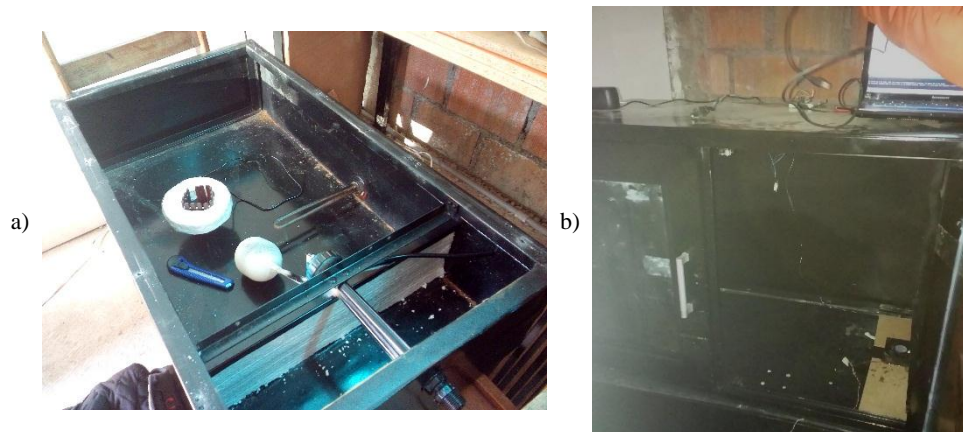


Figura 46 – a) Espacio donde se ubica la resistencia eléctrica, bolla y el humidificador y b) Instalación del sensor de humedad y temperatura

El proceso se automatizó por medio de un panel de control, en el cual, se regula el encendido y apagado de la resistencia eléctrica, que calienta el agua, y del humidificador; para garantizar que la temperatura se encuentre a $23^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ y la humedad relativa mayor a 96%.

3.5.2.4. Elaboración de Testigos de Suelo Cemento

Se elaboraron 18 testigos de suelo cemento, para porcentajes de 2%, 4% y 6% de cemento, respecto al peso seco del suelo. Estos, se compactaron con la humedad óptima y la máxima densidad seca.

Para la elaboración de los testigos previamente se determinaron los pesos de agregado, material fino, cemento y agua a utilizarse en la mezcla; como se muestra a continuación:

- $Densidad\ seca\ sin\ cemento = \frac{Máxima\ densidad\ seca}{1 + Contenido\ de\ cemento}$
- $Peso\ de\ suelo\ para\ el\ espécimen\ (A) = Densidad\ seca\ sin\ cemento * Volumen\ del\ molde$
- $Peso\ de\ suelo\ para\ el\ incremento\ por\ manipulación\ (B) = Peso\ suelo\ para\ el\ espécimen * 0.1$
- $Peso\ de\ suelo\ para\ muestras\ de\ contenido\ de\ humedad\ (C) = 4 * 500\ gr$
- $Peso\ total\ de\ suelo\ seco\ (D) = A + B + C$
- $Peso\ de\ agregado\ seco\ (E) = Peso\ total\ de\ suelo\ seco * Porcentaje\ agregado$
- $Peso\ de\ material\ fino\ seco\ (F) = Peso\ total\ de\ suelo\ seco * Porcentaje\ material\ fino$
- $Peso\ de\ cemento = Peso\ total\ de\ suelo\ seco * Contenido\ de\ cemento$
- $Peso\ de\ agregado\ saturado\ superficialmente\ seco = Peso\ agregado\ seco * (1 + Absorción)$
- $Peso\ de\ material\ fino\ secado\ al\ aire = Peso\ material\ fino\ seco * (1 + Humedad\ higroscópica)$
- $Cantidad\ total\ de\ agua\ necesaria\ (G) = (D + Peso\ de\ cemento) * Contenido\ de\ humedad\ óptimo$
- $Cantidad\ de\ agua\ presente\ en\ el\ agregado\ (H) = E * Absorción\ del\ agregado$
- $Cantidad\ de\ agua\ presente\ en\ el\ material\ fino\ (I) = F * Humedad\ higroscópica$
- $Cantidad\ de\ agua\ por\ perdida\ de\ humedad\ (J) = G * 5\%$
- $Cantidad\ de\ agua\ a\ añadirse = G - H - I + J$

La Tabla 45 muestra los cálculos realizados para testigos con 2%, 4% y 6% de cemento.

Tabla 45 - Cálculo de pesos para elaboración de testigos de suelo cemento (2%, 4% y 6%)

Contenido de cemento de cemento (%)	2%	4%	6%
Máxima densidad seca (gr/cm3)	2.150	2.149	2.147
Contenido de humedad óptimo (%)	7.17%	6.99%	7.03%
Material retenido en el tamiz N°4 (%)	37.92%	37.92%	37.92%
Absorción del agregado (%)	2.87%	2.87%	2.87%
Humedad higroscópica del material fino (%)	4.39%	4.39%	4.39%
Volumen del molde (cm3)	942.18	942.18	942.18
Densidad seca sin cemento (gr/cm3)	2.107	2.067	2.025
Peso de suelo para el espécimen (gr)	1985.64	1947.28	1907.93
Peso de suelo para el incremento por manipulación (gr)	198.56	194.73	190.79
Peso de suelo para muestras de contenido de humedad (gr)	500.00	500.00	500.00
Peso total del suelo seco (gr)	2684.20	2642.01	2598.72
Peso de agregado seco (gr)	1017.94	1001.94	985.53
Peso de material fino (gr)	1666.26	1640.07	1613.20
Peso de cemento (gr)	53.68	105.68	155.92
Peso de agregado saturado superficialmente seco (gr)	1047.20	1030.74	1013.85
Peso de material fino secado al aire (gr)	1739.41	1712.07	1684.02
Cantidad total de agua necesaria (gr)	196.37	192.02	193.76
Cantidad de agua presente en el agregado (gr)	29.26	28.80	28.33
Cantidad de agua presente en el material fino (gr)	73.15	72.01	70.83
Cantidad de agua agregada por perdida de humedad (gr)	9.82	9.60	9.69
Cantidad de agua a añadirse (gr)	103.78	100.81	104.30

La compactación de los testigos se realizó en el molde de 4” de diámetro y 4.584” de altura, con 25 golpes por capa en 5 capas, además, para facilitar la extracción del testigo se aplicó una capa delgada de aceite comercial. En la compactación, la mezcla se distribuyó adecuadamente y se ripeó luego de cada capa, para brindar adherencia, así mismo, en medio de la compactación se tomó una porción de suelo, no menor a 500 gr, para determinar la humedad de compactación. Luego, se enrasó el espécimen, regresando a la mezcla compactada aquellos agregados, de los cuales, sobresalga ligeramente sus esquinas. Terminado esto, se extrajo el testigo del molde y se colocó en la cámara húmeda, para su curado.



Figura 47 – a) Mezclado enérgico para una homogenizar y distribuir de manera adecuada la humedad en la mezcla y b) Extracción del testigo elaborado.

La identificación de los testigos fue la siguiente:

- TSC – 2 – n (n = [1 – 6]) para testigos con 2% de cemento.

- TSC – 4 – n ($n = [1 - 6]$) para testigos con 4% de cemento.
- TSC – 6 – n ($n = [1 - 6]$) para testigos con 6% de cemento.

3.5.2.5. Resistencia a compresión

Los testigos de suelo cemento elaborados con 2%, 4% y 6%, y 7 días de curado húmedo, se retiraron de la cámara húmeda, se tomaron sus dimensiones y se sumergieron en agua por 3h. Inmediatamente retirados del agua, se colocaron en la máquina de compresión hidráulica y se sometieron a compresión hasta alcanzar la rotura.



Figura 48 – a) Curado de testigos de suelo-cemento y b) Testigos de suelo-cemento con 2%, 4% y 6% de cemento ensayados a compresión.

3.5.2.6. Mínima cantidad de cemento

La mínima cantidad de cemento se determinó en base a los resultados de resistencia a compresión de los testigos elaborados con 2%, 4% y 6% de cemento, determinando la cantidad de cemento necesaria para alcanzar una resistencia, incrementada en 20%, de la mínima requerida (18 kg/cm^2) según las EG – 2013, que es 21.6 kg/cm^2 .

3.5.3. Análisis de sensibilidad de la mezcla de suelo cemento

3.5.3.1. Preparación de material

La preparación del material fue igual que la realizada para determinar la mínima cantidad de cemento (ver pág. 71).

3.5.3.2. Elaboración de testigos

Para el análisis de sensibilidad por humedad y densidad de compactación de la mezcla, se elaboraron 48 testigos con la mínima cantidad de cemento, en los cuales, se varió el contenido

de humedad (-1%, +0% y +1%) en base al óptimo y la densidad seca (95%, 97% y 100%) en base a la máxima.

Previo a la compactación de los testigos al 95%, 97% y 100% de la máxima densidad seca, se determinaron las cantidades de golpes por capa necesarios para alcanzar tales densidades. Para ello, se realizaron ensayos de compactación a 5, 10, 15, 20 y 25 golpes por capa.

El cálculo de los pesos de los materiales utilizados, se observan en la Tabla 46.

Tabla 46 – Cálculo de los pesos de los materiales utilizados en la elaboración de testigos para el análisis de sensibilidad por humedad y densidad de compactación

Sensibilidad:	Por humedad			Por densidad
	-1% de CHO	CHO	+1% de CHO	CHO
Contenido de humedad	-1% de CHO	CHO	+1% de CHO	CHO
Contenido de humedad de compactación (%)	6.00%	7.00%	8.00%	7.00%
Contenido de cemento de cemento (%)	3.83%	3.83%	3.83%	3.83%
Máxima densidad seca (gr/cm3)	2.150	2.150	2.150	2.150
Material retenido en el tamiz N°4 (%)	37.92%	37.92%	37.92%	37.92%
Absorción del agregado (%)	2.87%	2.87%	2.87%	2.87%
Humedad higroscópica del material fino (%)	6.07%	6.07%	6.07%	5.27%
Volumen del molde (cm3)	942.18	942.18	942.18	942.18
Densidad seca sin cemento (gr/cm3)	2.070	2.070	2.070	2.070
Peso de suelo para el espécimen (gr)	1950.49	1950.49	1950.49	1950.49
Peso de suelo para el incremento por manipulación (gr)	195.05	195.05	195.05	195.05
Peso de suelo para muestras de contenido de humedad (gr)	500.00	500.00	500.00	500.00
Peso total del suelo seco (gr)	2645.54	2645.54	2645.54	2645.54
Peso de agregado seco (gr)	1003.28	1003.28	1003.28	1003.28
Peso de material fino (gr)	1642.26	1642.26	1642.26	1642.26
Peso de cemento (gr)	101.42	101.42	101.42	101.42
Peso de agregado saturado superficialmente seco (gr)	1032.12	1032.12	1032.12	1032.12
Peso de material fino secado al aire (gr)	1741.90	1741.90	1741.90	1728.76
Cantidad total de agua necesaria (gr)	164.82	192.29	219.76	192.29
Cantidad de agua presente en el agregado (gr)	28.84	28.84	28.84	28.84
Cantidad de agua presente en el material fino (gr)	99.65	99.65	99.65	86.50
Cantidad de agua agregada por pérdida de humedad (gr)	8.24	9.61	10.99	9.61
Cantidad de agua a añadirse (gr)	44.58	73.42	102.26	86.56

El procedimiento de elaboración de los testigos fue el mismo que el realizado para la determinación de la mínima cantidad de cemento (ver pág. 74).



Figura 49 – a) Materiales utilizados en la elaboración de testigos de suelo-cemento (agregado grueso en estado saturado superficialmente seco, material fino secado al aire, cemento y agua) y b) Engrasado del molde antes de la compactación para facilitar la extracción del testigo

La identificación de los testigos fue la siguiente:

- TSC – OP – 1 – n ($n = [1 - 6]$), para testigos elaborados con el contenido de humedad reducido en 1% respecto al óptimo.
- TSC – OP + 0 – n ($n = [1 - 6]$), para testigos elaborados con el contenido de humedad óptimo.
- TSC – OP + 1 – n ($n = [1 - 6]$), para testigos elaborados con el contenido de humedad incrementado en 1% respecto al óptimo.
- TSC – 95 – n ($n = [1 - 6]$), para testigos elaborados al 95% de la máxima densidad seca.
- TSC – 97 – n ($n = [1 - 6]$), para testigos elaborados al 97% de la máxima densidad seca.
- TSC – 100 – n ($n = [1 - 6]$), para testigos elaborados al 100% de la máxima densidad seca.

3.5.3.3. Resistencia a compresión

Los testigos de suelo cemento que se elaboraron para el análisis de sensibilidad por humedad y densidad de compactación, a 7 días de curado húmedo, fueron retirados de la cámara húmeda, para luego, tomar sus dimensiones y sumergirlos en agua por 3h. Cumplido el tiempo, se retiraron del agua y se sometieron a compresión, hasta alcanzar la rotura.

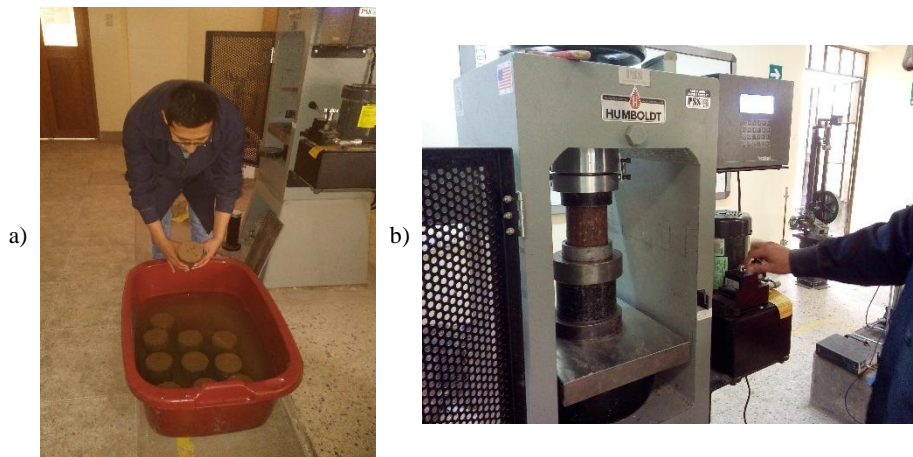


Figura 50 – a) Saturación de los testigos de suelo-cemento luego de ser retirados de la cámara húmeda y b) Compresión de testigos de suelo-cemento luego de ser saturados por 3 hrs

3.5.3.4. Sensibilidad por humedad de compactación

El análisis de sensibilidad de la mezcla de suelo cemento por humedad de compactación, se determinó en base a los resultados de resistencia a compresión de los testigos elaborados con contenidos de humedad de -1%, +0% y +1% del óptimo, observando que la resistencia a compresión alcanzada no sea menor a la mínima exigida (18 kg/cm^2).

3.5.3.5. Sensibilidad por densidad de compactación

El análisis de sensibilidad de la mezcla de suelo cemento por densidad de compactación, se determinó en base a los resultados de resistencia a compresión de los testigos elaborados al 95%, 97% y 100% de la máxima densidad seca, observando que la resistencia a compresión alcanzada, en el grado de compactación de diseño, no sea menor a la mínima exigida (18 kg/cm²).

3.5.4. Valor relativo de soporte

3.5.4.1. CBR de suelo natural

El suelo utilizado fue secado al aire, disgregado y tamizado por el tamiz de $\frac{3}{4}$ " (utilizando el material pasante). Luego se tomaron 3 muestras, no menores a 500 gr, para determinar el contenido de humedad presente en el suelo.

La Tabla 47 muestra el contenido de humedad del suelo.

Tabla 47 – Contenido de humedad presente en el suelo para ensayo de CBR

	Muestra N° 1	Muestra N° 2	Muestra N° 3
Peso del recipiente (gr)	70.60	115.20	108.50
Peso del material + recipiente (gr)	946.30	1054.30	1042.00
Peso del material seco + recipiente (gr)	906.40	1013.50	1000.00
Peso del material seco (gr)	835.80	898.30	891.50
Peso del agua (gr)	39.90	40.80	42.00
Contenido de Humedad (%)	4.77%	4.54%	4.71%
Contenido de humedad promedio (%)	4.68%		

El procedimiento de cálculo de las cantidades de suelo y agua utilizados es el siguiente:

- *Peso de suelo para el espécimen (A) = 5900 gr*
- *Peso de suelo para muestras de contenido de humedad (B) = 2 * 500 gr*
- *Peso total de suelo seco (C) = A + B*
- *Peso del suelo húmedo (D) = C * (1 + Contenido de humedad)*
- *Cantidad total de agua necesaria (E) = C * Contenido de humedad óptimo*
- *Cantidad de agua presente en el suelo (F) = C * Contenido de humedad*
- *Cantidad de agua por pérdida de humedad (G) = E * 5%*
- *Cantidad de agua a añadirse = E - F + G*

Tabla 48 muestra los cálculos, de las cantidades de suelo y agua, realizados.

Tabla 48 – Cálculo de suelo y agua necesarios para especímenes de CBR (suelo natural)

Contenido de humedad del suelo (%)	4.68%
Contenido de humedad óptimo (%)	7.21%
Peso de suelo para el espécimen (gr)	5900.00
Peso de suelo para muestras de contenido de humedad (gr)	1000.00
Peso total del suelo seco (gr)	6900.00
Peso del suelo húmedo (gr)	7222.62
Cantidad total de agua necesaria (gr)	497.62
Cantidad de agua presente en el material fino (gr)	322.62
Cantidad de agua agregada por pérdida de humedad (gr)	24.88
Cantidad de agua a añadirse (gr)	199.88

En el ensayo se elaboraron 9 especímenes, 3 por grupo de ensayo. Estos, se compactaron con el contenido de humedad óptimo, en moldes de 6” de diámetro y 7” de altura, sobre un disco espaciador de 2.416” de altura y con 56, 25 y 12 golpes por capa, en 5 capas, variando el número de golpes para cada espécimen.

Luego, los especímenes compactados, se enrasaron y se sumergieron en agua durante 4 días, tomando lecturas de expansión y bajo una sobrecarga de 4.54 kg. Culminado el tiempo de inmersión, se retiraron del agua, dejando escurrir el agua restante, y se realizó la penetración, anotando las lecturas de carga correspondiente para cada penetración (ver Tabla 27, pág. 51).

Al finalizar la penetración, se retiraron los especímenes de la prensa de CBR y se extrajeron muestras, no menor a 500 gr, del suelo próximo al área de penetración.

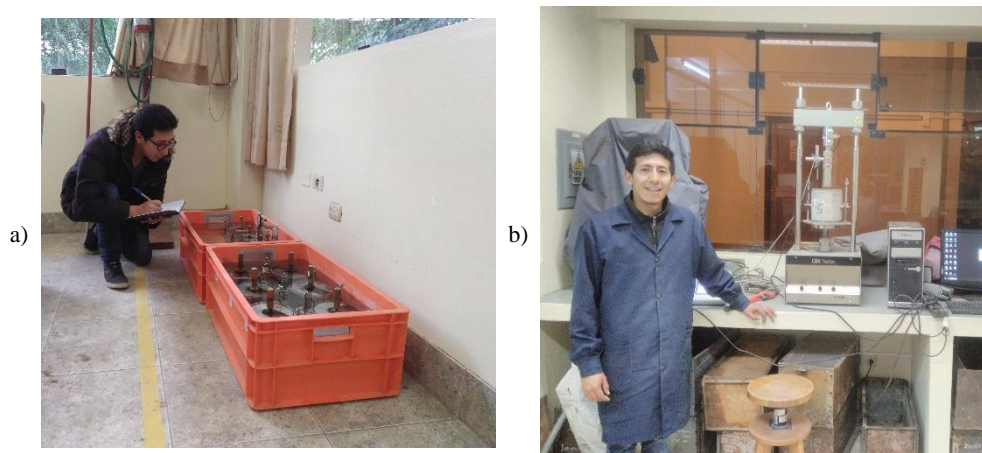


Figura 51 – a) Lectura de deformaciones de los especímenes de suelo natural bajo condiciones de saturación y b) Penetración del espécimen de suelo natural

Los 3 grupos de especímenes se identificaron como CBR – SN – n (n = [1 – 3]).

3.5.4.2. CBR de suelo cemento

El suelo utilizado fue el mismo que para el CBR de suelo natural, del cual, las porciones de suelo de cada espécimen se mezclaron con la mínima cantidad de cemento necesaria para alcanzar una resistencia a compresión de 18 kg/cm².

La Tabla 49 muestra los cálculos de suelo, cemento y agua necesarios para la compactación.

Tabla 49 – Cálculo de suelo, cemento y agua necesarios para especímenes de CBR (suelo cemento)

Contenido de humedad del suelo (%)	4.68%
Porcentaje de cemento (%)	3.83%
Contenido de humedad óptimo (%)	7.00%
Peso de suelo para el espécimen (gr)	5900.00
Peso de suelo para muestras de contenido de humedad (gr)	1000.00
Peso total del suelo seco (gr)	6900.00
Peso de cemento (gr)	264.52
Peso del suelo húmedo (gr)	7222.62
Cantidad total de agua necesaria (gr)	501.52
Cantidad de agua presente en el material fino (gr)	322.62
Cantidad de agua agregada por pérdida de humedad (gr)	25.08
Cantidad de agua a añadirse (gr)	203.97

En el ensayo se elaboraron 9 especímenes, 3 por grupo de ensayo. Para los cuales, el procedimiento del ensayo fue similar al realizado en el ensayo de CBR de suelo natural (ver pág. 79). Luego del compactado de los especímenes y previo a su inmersión en agua, los especímenes fueron colocados en la cámara húmeda durante 7 días para su curado.

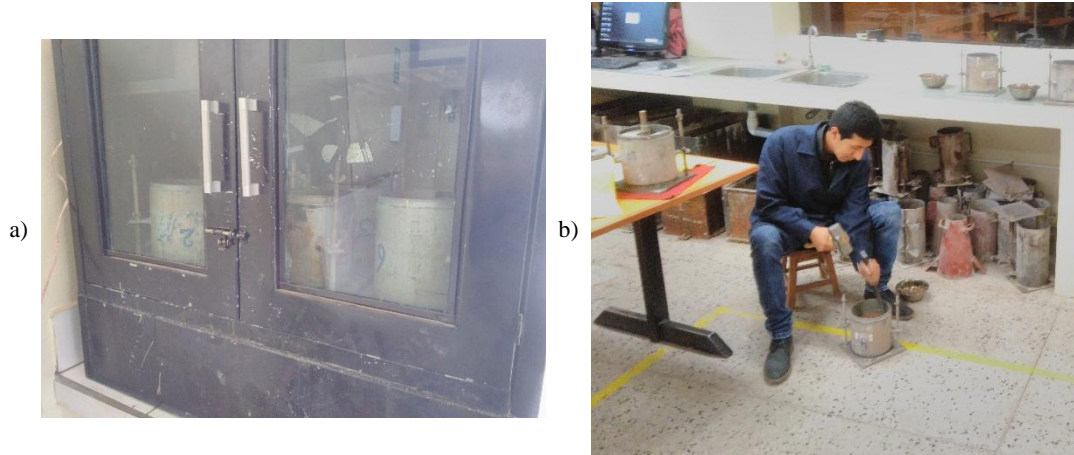


Figura 52 – a) Curado de especímenes de suelo-cemento para el ensayo de CBR y b) Extracción de muestra alrededor de la zona de penetración del pistón para determinar su contenido de humedad

Los 3 grupos de ensayo se identificaron como CBR – SC – n (n = [1 – 3]).

3.5.5. Método del ultrasonido

3.5.5.1. Preparación de material

La preparación de material fue igual que la realizada para determinar la mínima cantidad de cemento (ver pág. 71).

3.5.5.2. Elaboración de testigos

En el ensayo se elaboraron 6 testigos de suelo cemento, a los cuales, se adicionó la mínima cantidad de cemento necesaria para alcanzar una resistencia de 18 kg/cm². Estos, se compactaron con la humedad óptima y la máxima densidad seca.

La Tabla 50 muestra los cálculos de agregado, material fino, cemento y agua necesarios.

Tabla 50 – Calculo de agregado, suelo, cemento y agua necesarios para la elaboración de testigos de suelo cemento utilizados en el ensayo de velocidad de pulso de ultrasonido.

Contenido de humedad	El óptimo
Contenido de humedad de compactación (%)	7.00%
Contenido de cemento de cemento (%)	3.83%
Máxima densidad seca (gr/cm3)	2.150
Material retenido en el tamiz N°4 (%)	37.92%
Absorción del agregado (%)	2.87%
Humedad higroscópica del material fino (%)	5.04%
Volumen del molde (cm3)	942.18
Densidad seca sin cemento (gr/cm3)	2.070
Peso de suelo para el espécimen (gr)	1950.49
Peso de suelo para el incremento por manipulación (gr)	195.05

Peso de suelo para muestras de contenido de humedad (gr)	500.00
Peso total del suelo seco (gr)	2645.54
Peso de agregado seco (gr)	1003.28
Peso de material fino (gr)	1642.26
Peso de cemento (gr)	101.42
Peso de agregado saturado superficialmente seco (gr)	1032.12
Peso de material fino secado al aire (gr)	1724.96
Cantidad total de agua necesaria (gr)	192.29
Cantidad de agua presente en el agregado (gr)	28.84
Cantidad de agua presente en el material fino (gr)	82.70
Cantidad de agua agregada por pérdida de humedad (gr)	9.61
Cantidad de agua a añadirse (gr)	90.36

El procedimiento de elaboración de los testigos fue igual al realizado para la determinación de la mínima cantidad de cemento (ver pág. 74).

Los testigos se identificaron como TSC – VU – n (n = [1 – 6]).

3.5.5.3. Ensayo de velocidad de pulso de ultrasonido

El ensayo se realizó en base al ensayo ASTM D2845 y en testigos con 7 días de curado húmedo. Primero, se tomaron las dimensiones de los testigos y sus pesos, para luego, determinar sus densidades. A la vez, verificamos el adecuado funcionamiento del equipo y realizamos el ajuste a tiempo cero. Luego, colocamos el agente de acoplamiento en los extremos el testigo y realizamos la propagación de la onda ultrasónica, presionando los transductores para una señal estable.

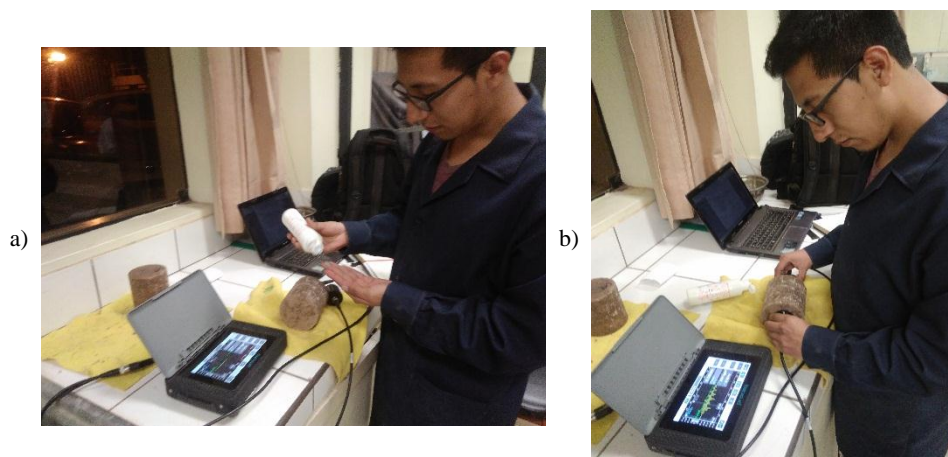


Figura 53 – a) Colocado de agente de acoplamiento (gel para ecografías) y b) Lectura de la transmisión de la onda longitudinal a una frecuencia de 54 kHz

3.5.5.4. Procesamiento de señal de onda

Luego de haber realizado el ensayo de velocidad de pulso de ultrasonido, se obtuvo una señal de onda. La cual, se procesó mediante el método de la envolvente, con el propósito de determinar el tiempo de vuelo (tiempo de propagación) de la onda. En la Figura 54 se muestra un esquema del procesamiento realizado.

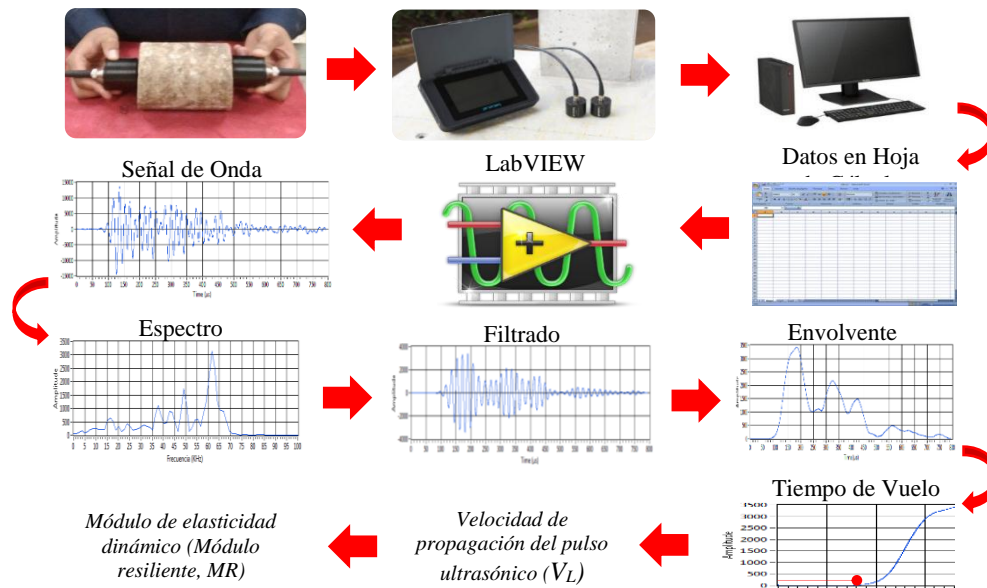


Figura 54 – Esquema del procedimiento para el procesamiento de señales de onda

El procesamiento de la señal de la onda constó de lo siguiente:

- Generamos la señal de la onda en base a los datos extraídos del equipo con ayuda del software PL - Link.
- Determinamos el espectro de frecuencias, para verificar la necesidad de un filtrado.
- Aplicamos un filtro pasa banda en frecuencias de $54 \text{ kHz} \pm 1 \text{ kHz}$ (frecuencia del transductor).
- Graficamos la señal de la onda filtrada.
- Calculamos la envolvente de la señal filtrada y determinamos el tiempo de vuelo del pulso ultrasónico.
- Calculamos las velocidades de las ondas longitudinal y transversal, para luego determinar el valor del módulo resiliente del suelo cemento.

3.5.6. Diseño del pavimento

Los diseños del pavimento rígido se realizaron con la metodología AASHTO 93 y los valores de las variables de diseño se consideraron en base a las recomendaciones brindadas por el MTC. Para determinar el valor del módulo de reacción combinado " k_c ", se utilizó la metodología AASHTO 93, para lo cual, los valores de módulo resiliente de la subrasante y de la subbase de suelo natural fueron determinados mediante correlaciones a partir del CBR, y el de la subbase de suelo tratado con cemento en función de la velocidad de propagación de onda.

3.6. Procedimientos de análisis de datos

3.6.1. Caracterización del material

3.6.1.1. Análisis granulométrico

Se determinó la curva granulométrica en base al porcentaje de material pasante y la abertura del tamiz. Los cálculos se realizaron de la siguiente forma:

- $\% \text{ Retenido} = \text{Peso retenido} / \text{Peso del suelo seco}$
- $\% \text{ Retenido acumulado} = \sum \% \text{ Retenido}$
- $\% \text{ Pasante} = 100\% - \% \text{ Retenido acumulado}$

Los cálculos de las 3 muestras ensayadas se encuentran en el Anexo 3 (pág. 160).

En la Tabla 51, se observan los cálculos realizados con los porcentajes retenidos promedios, y, la Figura 55 muestra las curvas granulométricas de las 3 muestras ensayadas y su promedio.

Tabla 51 – Cálculos realizados con los % Retenidos promedios

Tamiz	Abertura (mm)	% Retenido	% Retenido acumulado	% Pasante
3"	75.000	0.00%	0.00%	100.00%
2"	50.800	3.19%	3.19%	96.81%
1 1/2"	38.100	2.54%	5.74%	94.26%
3/4"	19.000	9.46%	15.20%	84.80%
3/8"	9.500	11.63%	26.83%	73.17%
N° 4	4.760	11.09%	37.92%	62.08%
N° 8	2.360	8.96%	46.89%	53.11%
N° 10	2.000	1.70%	48.58%	51.42%
N° 16	1.100	4.62%	53.21%	46.79%
N° 30	0.590	4.38%	57.58%	42.42%
N° 40	0.425	1.66%	59.24%	40.76%
N° 50	0.297	1.42%	60.66%	39.34%
N° 100	0.149	2.75%	63.41%	36.59%
N° 200	0.075	2.01%	65.42%	34.58%
Fondo	--	0.41%	-	-

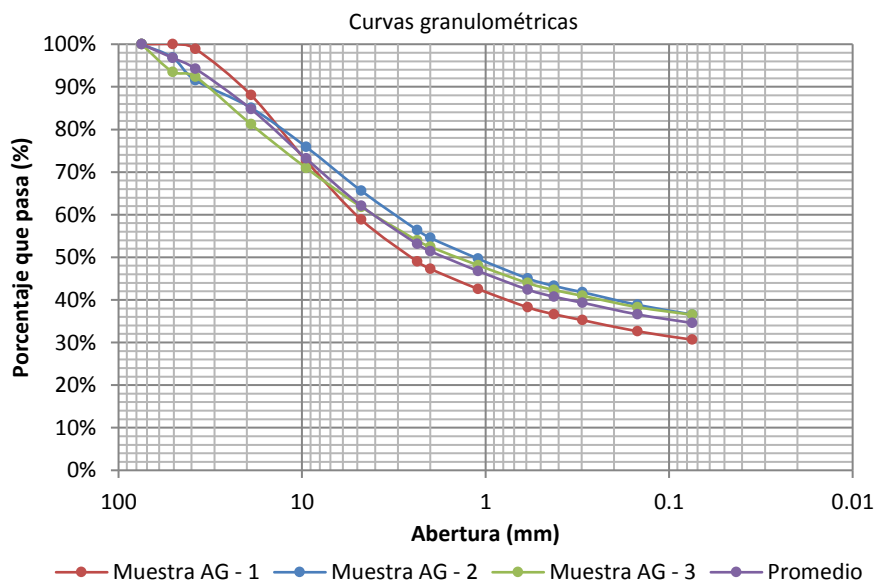


Figura 55 - Curvas granulométricas

El análisis granulométrico muestra que el suelo presenta una buena gradación y un alto contenido de finos (< tamiz N°200), así también, se puede observar que las curvas granulométricas de las muestras ensayadas no presentan grandes diferencias, verificando la representatividad del material extraído.

3.6.1.2. Límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad

Los contenidos de humedad de las muestras de los ensayos de límite líquido y plástico se calcularon de la siguiente forma:

- $Peso\ de\ la\ muestra\ seca = Peso\ (cápsula + muestra\ seca) - Peso\ cápsula$
- $Peso\ del\ agua = Peso(cápsula + muestra\ húmeda) - Peso(cápsula + muestra\ seca)$
- $Contenido\ de\ humedad = \frac{Peso\ del\ agua}{Peso\ de\ la\ muestra\ seca} * 100$

Para determinar el límite líquido se generó una línea de tendencia en la gráfica elaborada con el número de golpes en función del contenido de humedad, como se muestra en la Figura 56. La Tabla 52 muestra los cálculos del ensayo de límite líquido.

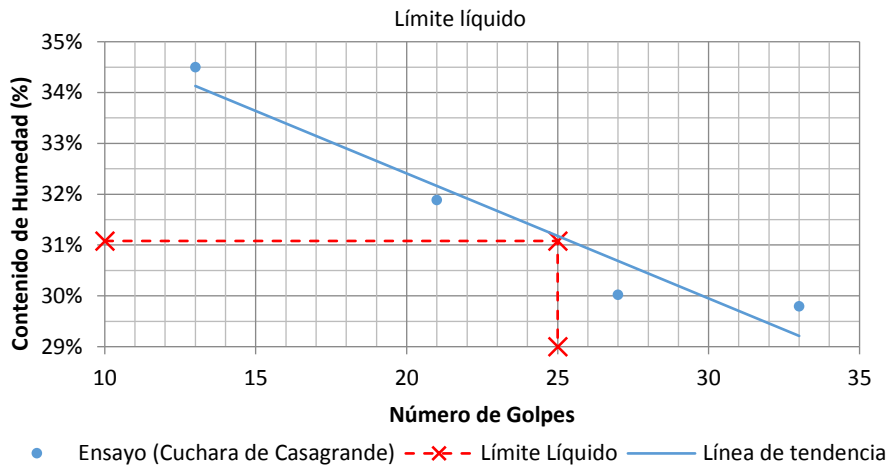


Figura 56 – Gráfica para determinar el límite líquido

Tabla 52 – Cálculos del ensayo de límite líquido

Límite líquido				
Nº de golpes	33	27	21	13
Nº de cápsula	A-1	A-2	A-3	A-4
Cápsula + Suelo Húmedo (gr)	50.80	50.96	50.21	51.16
Cápsula + Suelo Seco (gr)	46.37	45.92	45.52	46.22
Cápsula (gr)	31.50	29.13	30.81	31.90
Agua (gr)	4.43	5.04	4.69	4.94
Suelo Seco (gr)	14.87	16.79	14.71	14.32
Humedad (%)	29.79%	30.02%	31.88%	34.50%
Límite Líquido a 25 golpes	31.08			

El límite plástico es el promedio de los contenidos de humedad de las muestras de ensayo. En la Figura 57 se observan los valores de contenido de humedad del ensayo de límite plástico y su promedio, y la Tabla 53 muestra los resultados de los cálculos realizados.

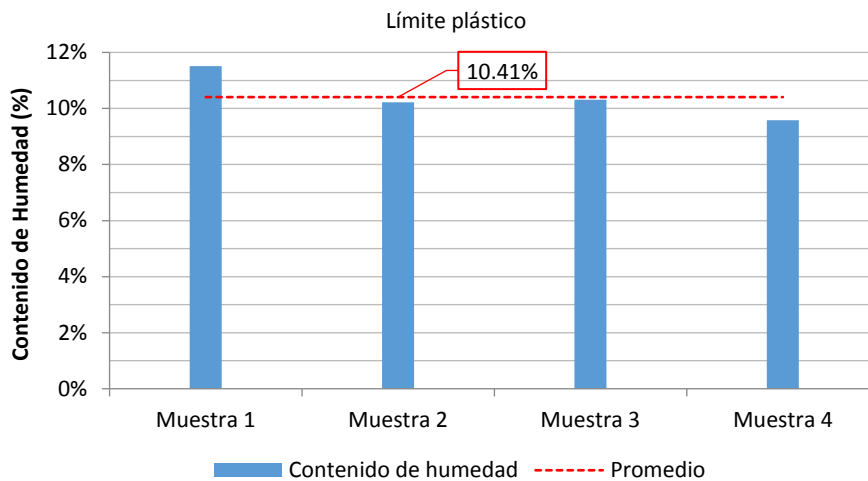


Figura 57 – Contenidos de humedad del ensayo de límite plástico

Tabla 53 - Cálculos del ensayo de límite plástico

Límite plástico				
Nº de cápsula	C-1	C-2	C-3	C-4
Cápsula + Suelo Húmedo (gr)	17.41	17.93	18.07	17.22
Cápsula + Suelo Seco (gr)	16.80	17.32	17.45	16.72
Cápsula (gr)	11.50	11.35	11.44	11.50
Agua (gr)	0.61	0.61	0.62	0.50
Suelo Seco (gr)	5.30	5.97	6.01	5.22
Humedad (%)	11.51%	10.22%	10.32%	9.58%
Límite Plástico	10.41			

El índice de plasticidad se determinó de la diferencia de estos.

$$IP = LL - LP \qquad IP = 31.08 - 10.41 \qquad IP = 20.67$$

El índice de plasticidad muestra que el suelo es plástico y se debe al alto contenido de arcillas en el suelo, esto contrasta lo reportado en el análisis granulométrico.

3.6.1.3. Clasificación del suelo

3.6.1.3.1. Clasificación SUCS

Para la clasificación se determinaron los siguientes datos:

- % de grava = Porcentaje de material retenido acumulado en el tamiz N°4
- % de arena = Porcentaje de material pasante del tamiz N°4 y retenido en el tamiz N°200
- % de finos = Porcentaje de material pasante del tamiz N°200
- Fracción de partículas gruesas = % de grava + % de arena
- Fracción de partículas finas = % de finos
- % de gravas de la fracción gruesa = $\frac{\% \text{ de gravas}}{\text{Fracción de partículas gruesas}}$
- % de arenas de la fracción gruesa = $\frac{\% \text{ de arenas}}{\text{Fracción de partículas gruesas}}$

Del análisis granulométrico se tienen los resultados de la Tabla 54.

Tabla 54 - Cálculos para clasificar el suelo según el SUCS

% de grava	37.92%
% de arena	27.49%
% de finos	34.58%
Fracción gruesa (FG)	65.42%
% grava de la FG	57.97%
% arena de la FG	42.03%
Fracción fina (FF)	34.58%

A partir de los resultados de la Tabla 54 y de los valores de límite líquido e índice de plasticidad, el suelo se clasifica como una **Grava arcillosa con arena**; según la Tabla 55, la Figura 58 y el Apéndice A (ver pág. 198).

Tabla 55 – Clasificación del suelo según el SUCS

Gravas: Más del 50% de la fracción mayor al tamiz de 75 µm (N° 200) queda retenida en el tamiz de 4.75 mm (N° 4)

Descripción General	Características	Símbolo del Grupo	Denominación del Grupo
Grava con menos de 5 % de finos	$C_u \geq 4$ y $1 \leq C_c \leq 3$	GW	Grava bien gradada
	$C_u < 4$ y/o $1 > C_c > 3$	GP	Grava mal gradada
Grava con 5% a 12% de finos limosos	$C_u \geq 4$ y $1 \leq C_c \leq 3$	GW – GM	Grava bien gradada con finos limosos
	$C_u < 4$ y/o $1 > C_c > 3$	GP – GM	Grava mal gradada con finos limosos
Grava con 5% a 12% de finos arcillosos o arcillo-limosos	$C_u \geq 4$ y $1 \leq C_c \leq 3$	GW – GC	Grava bien gradada con finos arcillosos
	$C_u < 4$ y/o $1 > C_c > 3$	GP – GC	Grava mal gradada con finos arcillosos
Grava con más de 12% de finos	Los limos clasifican como ML o MH	GM	Grava limosa
	Los finos clasifican como CL o CH	GC	Grava arcillosa
	Los finos clasifican como CL-ML	GC – GM	Grava arcillo-limosa

Fuente: Elaboración Propia en base al INVIAS (2012b)

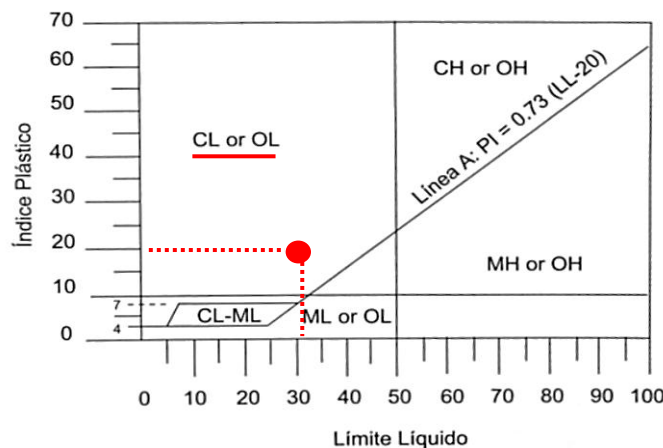


Figura 58 – Clasificación del material fino del suelo (Carta de plasticidad)

Fuente: Elaboración Propia en base a Menéndez Acurio (2016)

3.6.1.3.2. Clasificación AASHTO

En base al análisis granulométrico (ver Tabla 51, pág. 84) y el índice de grupo, el suelo viene a ser un **A-2-6 (2)** como se muestra a continuación (véase la Tabla 56):

$$IG = 0.01 (F - 15) (IP - 10) = 0.01(34.58 - 15)(20.67 - 10) = 2.09 \cong 2$$

Tabla 56 - Clasificación del material en estudio según la AASHTO

Sistema de clasificación AASHTO suelos granulares							
Materiales granulares (igual o menor al 35% pasante del Tamiz N°200)							
Clasificación del grupo	A-1		A-3	A-2			
	A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7
Análisis por tamices							
Tamiz N° 10	50 máx.						
Tamiz N° 40	30 máx.	50 máx.	51 mín.				
Tamiz N° 200	15 máx.	25 máx.	10 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.
Pasante N° 40							
LL				40 máx.	41 mín.	40 máx.	41 mín.
IP	6 máx.		No plástico	10 máx.	10 máx.	11 mín.	11 mín.
Tipo de Material	Fragmentos de roca, grava y arena		Arena fina	Grava y arena limosa o arcillosa			
Calidad de capa	Excelente a buena						

Fuente: Elaboración Propia en base a Menéndez Acurio (2016)

En la clasificación de suelos se puede observar que la clasificación del suelo es similar, siendo grava arcillosa (GC) con arena según la SUCS y A-2-6 (2), que está dentro del grupo de “grava y arena limosa o arcillosa” (ver Tabla 56), según la AASHTO.

3.6.1.4. Proctor Modificado

Para graficar la curva de compactación, se determinó los contenidos de humedad y densidades secas de los especímenes compactados, como se muestra a continuación:

- $Volumen\ del\ molde = \frac{\pi * (Promedio\ de\ los\ diámetros)^2}{4} * (Promedio\ de\ las\ alturas)$
- $Peso\ suelo\ compactado = Peso(molde + suelo\ compactado) - Peso\ del\ molde$
- $Contenido\ de\ humedad = \frac{Peso\ del\ agua}{Peso\ de\ la\ muestra\ seca} * 100$
- $Densidad\ húmeda = \frac{Peso\ suelo\ compactado}{Volumen\ del\ molde}$
- $Densidad\ seca = \frac{Densidad\ húmeda}{1 + Contenido\ de\ humedad}$

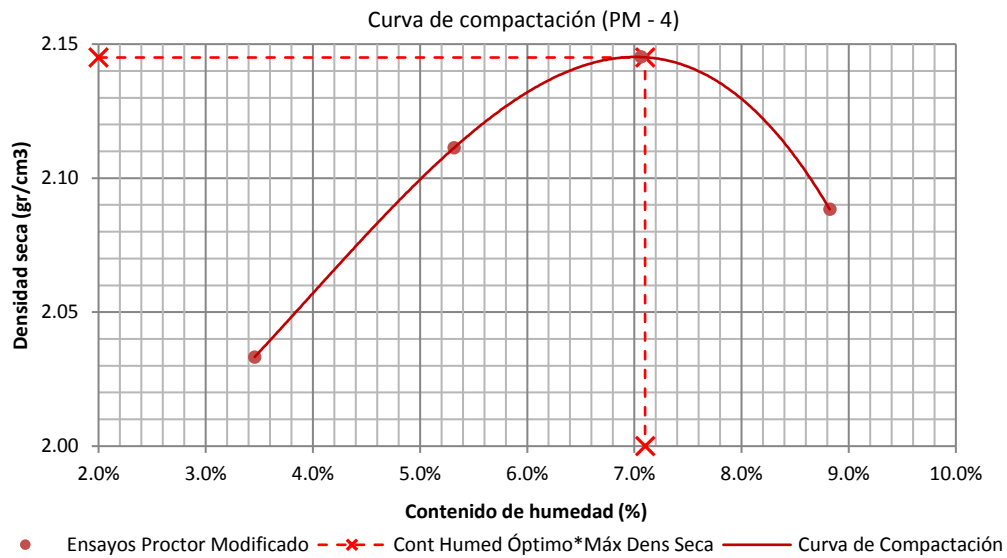
El cálculo del volumen del molde utilizado se encuentra en el Anexo 4 (pág. 161).

La Tabla 57 muestra los cálculos realizados para la muestra PM – 4.

Tabla 57 – Cálculos para determinar la curva granulométrica de la muestra PM – 4

Densidad de la muestra				
Descripción	Espécimen 01	Espécimen 02	Espécimen 03	Espécimen 04
Molde	4	4	4	4
Volumen del Molde (cm3)	2123.09	2123.09	2123.09	2123.09
Peso Molde (gr)	6029.00	6029.00	6029.00	6029.00
Peso Molde + Suelo Compactado (gr)	10495.00	10750.00	10905.00	10854.00
Peso Suelo Compactado (gr)	4466.00	4721.00	4876.00	4825.00
Densidad Húmeda (gr/cm3)	2.10	2.22	2.30	2.27
Densidad Seca (gr/cm3)	2.03	2.11	2.15	2.09
Contenido de Humedad				
Descripción	Espécimen 01	Espécimen 02	Espécimen 03	Espécimen 04
Cápsula	T-7	C-2	T-14	T-3
Peso Cápsula (gr)	70.48	61.46	65.61	67.91
Peso de Muestra Húmeda + Cápsula (gr)	589.43	587.99	593.56	599.01
Peso de Muestra Seca + Cápsula (gr)	572.09	561.40	558.74	555.95
Peso Agua (gr)	17.34	26.59	34.82	43.06
Peso Muestra Seca (gr)	501.61	499.94	493.13	488.04
Contenido de Humedad (%)	3.46%	5.32%	7.06%	8.82%

La Figura 59 muestra la curva de compactación de la muestra PM – 4 y el contenido de humedad óptimo para alcanzar su máxima densidad seca.



Contenido de humedad óptimo (%)	7.35%	Máxima densidad seca (gr/cm3)	2.132
---------------------------------	-------	-------------------------------	-------

Figura 59 - Curva de compactación de la muestra PM – 4

Los cálculos de todas las muestras del ensayo se encuentran en el Anexo 5 (pág. 162).

En la Figura 60 se puede observar las curvas de compactación de las muestras de suelo natural, y la Tabla 58 muestra el resumen de los resultados de tales muestras.

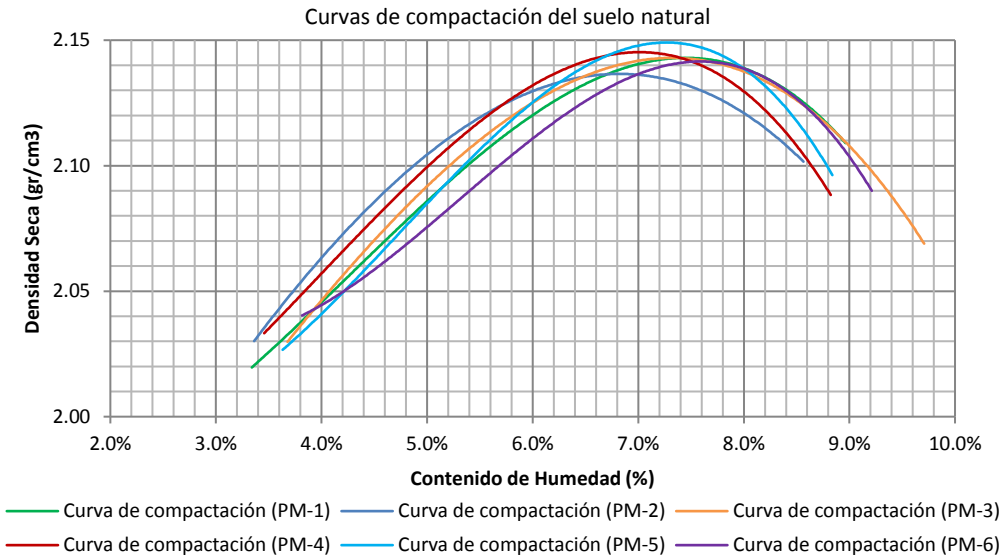


Figura 60 - Curvas de compactación de las muestras de suelo natural

Tabla 58 – Contenidos de humedad óptimo y máximas densidades secas de los ensayos de compactación de las muestras de suelo natural

Muestra	Máxima densidad seca (gr/cm3)	Contenido de humedad óptimo (%)
PM - 1	2.143	7.40%
PM - 2	2.136	6.72%
PM - 3	2.143	7.25%
PM - 4	2.145	7.10%
PM - 5	2.148	7.20%
PM - 6	2.141	7.60%
Promedio	2.143	7.21%

En el ensayo de compactación del suelo natural, se puede observar que la humedad óptima de compactación es baja en comparación a otros suelos con alto contenido de arcillas, esto se debe, a la buena gradación que presenta el suelo. También, se observa que las curvas de compactación son similares, por ende, brindando resultados confiables.

3.6.1.5. Absorción del agregado

El procedimiento para calcular la absorción del agregado fue el siguiente:

- $Peso\ agua\ absorbida = Peso(agregado\ saturado\ superficialmente\ seco + recipiente) - Peso(agregado\ seco + recipiente)$
- $Peso\ agregado\ seco = Peso(agregado\ seco + recipiente) - Peso\ recipiente$
- $Absorción = \frac{Peso\ del\ agua\ absorbida}{Peso\ del\ agregado\ seco}$

La Tabla 59 muestra los resultados de absorción y su promedio. El valor promedio, se utilizó para calcular los pesos de material que se utilizaron en las mezclas de suelo cemento.

Tabla 59 - Cálculos para determinar la absorción del agregado

	Muestra N° 1	Muestra N° 2	Muestra N° 3
Peso del recipiente (gr)	601.40	607.70	652.60
Peso del agregado saturado superficialmente seco + recipiente (gr)	3968.10	3763.70	3808.00
Peso del agregado seco + recipiente (gr)	3878.60	3669.60	3721.50
Peso del agregado seco (gr)	3277.20	3061.90	3068.90
Agua absorbida (gr)	89.50	94.10	86.50
Absorción (%)	2.73%	3.07%	2.82%
Absorción promedio (%)	2.87%		

El ensayo de absorción del agregado (> tamiz N°4 y < tamiz de 3/4”), muestra que el contenido de agua presente en el agregado, en estado saturado superficialmente seco es reducido, y no presenta grandes variaciones (véase Tabla 60).

3.6.1.6. Humedad higroscópica

El procedimiento para calcular la humedad higroscópica del material fino es el siguiente:

- $Peso\ agua\ higroscópica = Peso(material\ fino\ secado\ al\ aire + boll) - Peso(material\ fino\ secado\ en\ el\ horno + boll)$
- $Peso\ material\ fino\ seco = Peso(material\ fino\ secado\ en\ el\ horno + boll) - Peso\ boll$
- $Humedad\ higroscópica = \frac{Peso\ del\ agua\ higroscópica}{Peso\ del\ material\ fino\ seco}$

En las Tablas 60, 61, 62, 63 y 64 se observan los resultados de humedad higroscópica, y sus promedios, para los grupos de material fino secados al aire.

Tabla 60 – Cálculos para determinar la humedad higroscópica del material fino utilizado en el ensayo Relación Humedad-Densidad (Suelo Cemento)

	Muestra N° 1	Muestra N° 2	Muestra N° 3
Peso del boll (gr)	67.79	61.20	71.48
Peso del material fino secado al aire + boll (gr)	588.30	538.62	571.48
Peso del material fino secado en el horno + boll (gr)	554.97	508.69	540.26
Peso del material fino secado en el horno (gr)	487.18	447.49	468.78
Peso de agua higroscópica (gr)	33.33	29.93	31.22
Humedad higroscópica (%)	6.84%	6.69%	6.66%
Humedad higroscópica promedio (%)	6.73%		

Tabla 61 - Cálculos para determinar la humedad higroscópica del material fino utilizado en la elaboración de testigos de suelo cemento para determinar la mínima cantidad de cemento

	Muestra N° 1	Muestra N° 2	Muestra N° 3
Peso del boll (gr)	67.75	68.37	66.20
Peso del material fino secado al aire + boll (gr)	489.25	577.51	536.16
Peso del material fino secado en el horno + boll (gr)	471.18	556.68	516.24
Peso del material fino secado en el horno (gr)	403.43	488.31	450.04
Peso de agua higroscópica (gr)	18.07	20.83	19.92
Humedad higroscópica (%)	4.48%	4.27%	4.43%
Humedad higroscópica promedio (%)	4.39%		

Tabla 62 - Cálculos para determinar la humedad higroscópica del material fino utilizado en la elaboración de testigos de suelo cemento para analizar la sensibilidad por humedad de compactación

	Muestra N° 1	Muestra N° 2	Muestra N° 3
Peso del boll (gr)	69.10	66.51	67.44
Peso del material fino secado al aire + boll (gr)	489.25	534.76	496.21
Peso del material fino secado en el horno + boll (gr)	465.38	508.34	471.18
Peso del material fino secado en el horno (gr)	396.28	441.83	403.74
Peso de agua higroscópica (gr)	23.87	26.42	25.03
Humedad higroscópica (%)	6.02%	5.98%	6.20%
Humedad higroscópica promedio (%)	6.07%		

Tabla 63 - Cálculos para determinar la humedad higroscópica del material fino utilizado en la elaboración de testigos de suelo cemento para analizar la sensibilidad por densidad de compactación

	Muestra N° 1	Muestra N° 2	Muestra N° 3
Peso del boll (gr)	71.26	72.21	67.80
Peso del material fino secado al aire + boll (gr)	459.68	526.31	513.97
Peso del material fino secado en el horno + boll (gr)	440.19	503.16	492.13
Peso del material fino secado en el horno (gr)	368.93	430.95	424.33
Peso de agua higroscópica (gr)	19.49	23.15	21.84
Humedad higroscópica (%)	5.28%	5.37%	5.15%
Humedad higroscópica promedio (%)	5.27%		

Tabla 64 - Cálculos para determinar la humedad higroscópica del material fino utilizado en la elaboración de testigos de suelo cemento para determinar la velocidad de propagación de ondas

	Muestra N° 1	Muestra N° 2	Muestra N° 3
Peso del boll (gr)	69.09	67.44	61.32
Peso del material fino secado al aire + boll (gr)	549.63	473.78	559.18
Peso del material fino secado en el horno + boll (gr)	527.16	454.17	534.88
Peso del material fino secado en el horno (gr)	458.07	386.73	473.56
Peso de agua higroscópica (gr)	22.47	19.61	24.30
Humedad higroscópica (%)	4.91%	5.07%	5.13%
Humedad higroscópica promedio (%)	5.04%		

Los resultados de humedad higroscópica de los materiales finos (< tamiz N°4) presentan variaciones, esto se debe a que, al momento de ser secados al aire, en distintas fechas, no todos se secaron bajo las mismas condiciones de temperatura, secándose unos más que otros.

3.6.2. Selección de mínima cantidad de cemento

3.6.2.1. Relación humedad-densidad (suelo cemento)

Los cálculos realizados para graficar la curva de compactación fueron los mismos que los del ensayo de Proctor Modificado (pág. 88).

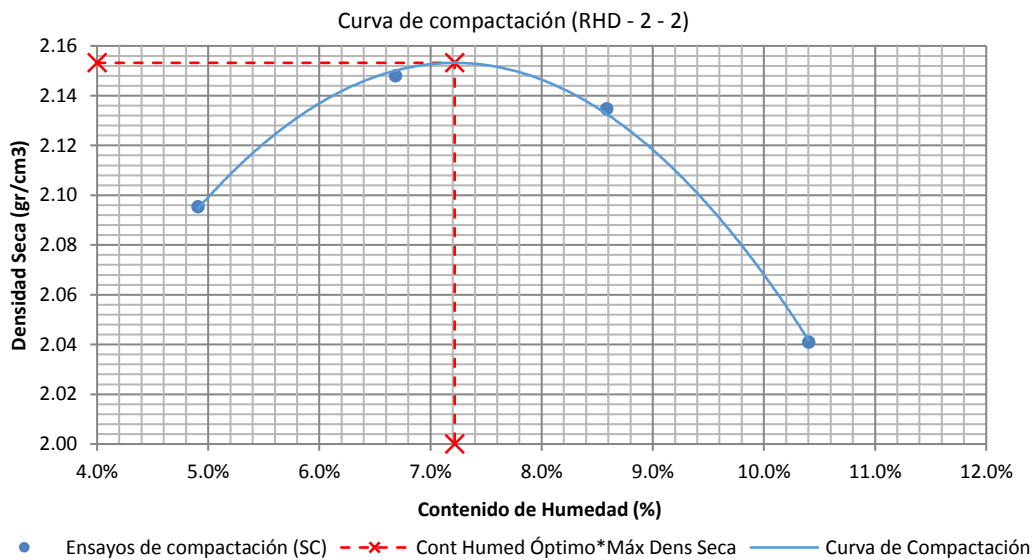
El cálculo del volumen del molde utilizado se encuentra en el Anexo 4 (pág. 161). Este molde también se utilizó en la elaboración de los distintos testigos de suelo cemento a ser ensayados.

La Tabla 65 muestra los cálculos realizados para la muestra RHD – 2 – 2.

Tabla 65 - Cálculos para determinar la curva granulométrica de la muestra RHD - 2 - 2

Densidad de la muestra				
Descripción	Espécimen 01	Espécimen 02	Espécimen 03	Espécimen 04
Molde	1	1	1	1
Volumen del Molde (cm ³)	942.18	942.18	942.18	942.18
Peso Molde (gr)	4172.00	4172.00	4172.00	4172.00
Peso Molde + Suelo Compactado (gr)	6243.00	6332.00	6355.00	6295.00
Peso Suelo Compactado (gr)	2071.00	2160.00	2183.00	2123.00
Densidad Húmeda (gr/cm ³)	2.20	2.29	2.32	2.25
Densidad Seca (gr/cm ³)	2.10	2.15	2.13	2.04
Contenido de Humedad				
Descripción	Espécimen 01	Espécimen 02	Espécimen 03	Espécimen 04
Cápsula	T-5	T-7	T-9	T-10
Peso Cápsula (gr)	71.26	70.54	69.35	69.89
Peso de Muestra Húmeda + Cápsula (gr)	560.02	567.36	570.54	567.13
Peso de Muestra Seca + Cápsula (gr)	537.16	536.23	530.91	520.28
Peso Agua (gr)	22.86	31.13	39.63	46.85
Peso Muestra Seca (gr)	465.90	465.69	461.56	450.39
Contenido de Humedad (%)	4.91%	6.68%	8.59%	10.40%

La Figura 61 muestra la curva de compactación de la muestra RHD - 2 - 2 y el contenido de humedad óptimo para alcanzar su máxima densidad seca.



Contenido de humedad óptimo (%)	7.22%	Máxima densidad seca (gr/cm ³)	2.153
---------------------------------	-------	--	-------

Figura 61 - Curva de compactación de la muestra de suelo-cemento RHD - 2 - 2

Los cálculos de todas las muestras del ensayo, con 2%, 4% y 6% de cemento, se encuentran en los Anexos 6, 7 y 8 (págs. 164 - 169).

En la Figura 62 se observan las curvas de compactación de las muestras de suelo cemento adicionadas con 2% de cemento, y la Tabla 66 muestra el resumen de resultados de las muestras adicionadas con 2% de cemento.

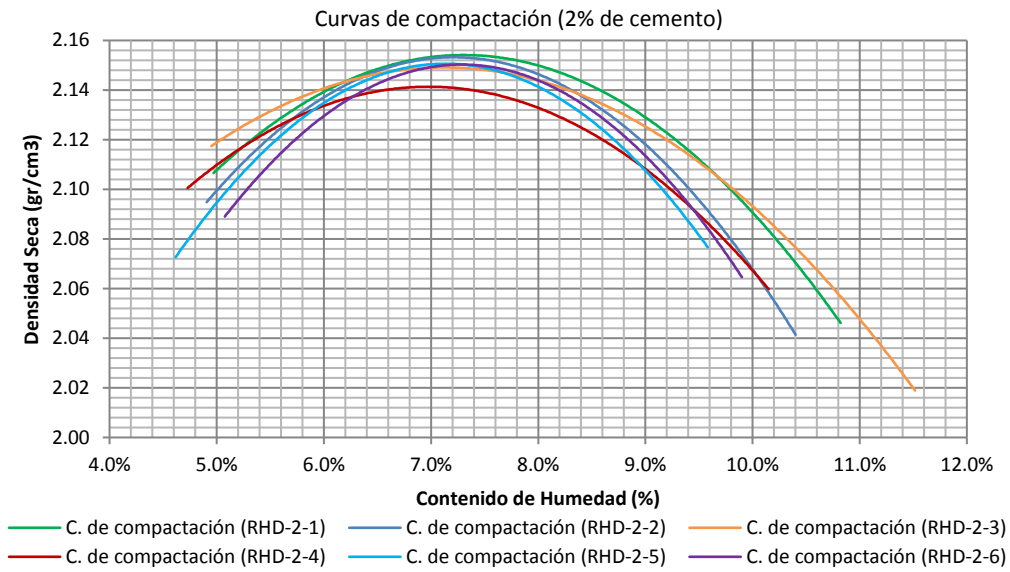


Figura 62 – Curvas de compactación de las muestras de suelo cemento adicionadas con 2% de cemento

Tabla 66 - Contenidos de humedad óptimo y máximas densidades secas de los ensayos de compactación de las muestras de suelo cemento adicionadas con 2% de cemento

Muestra	Máxima densidad seca (gr/cm ³)	Contenido de humedad óptimo (%)
RHD - 2 - 1	2.154	7.30%
RHD - 2 - 2	2.153	7.22%
RHD - 2 - 3	2.149	7.12%
RHD - 2 - 4	2.141	6.98%
RHD - 2 - 5	2.151	7.13%
RHD - 2 - 6	2.149	7.29%
Promedio	2.150	7.17%

En la Figura 63 se observan las curvas de compactación de las muestras de suelo cemento adicionadas con 4% de cemento, y la Tabla 67 muestra el resumen de resultados de las muestras adicionadas con 4% de cemento.

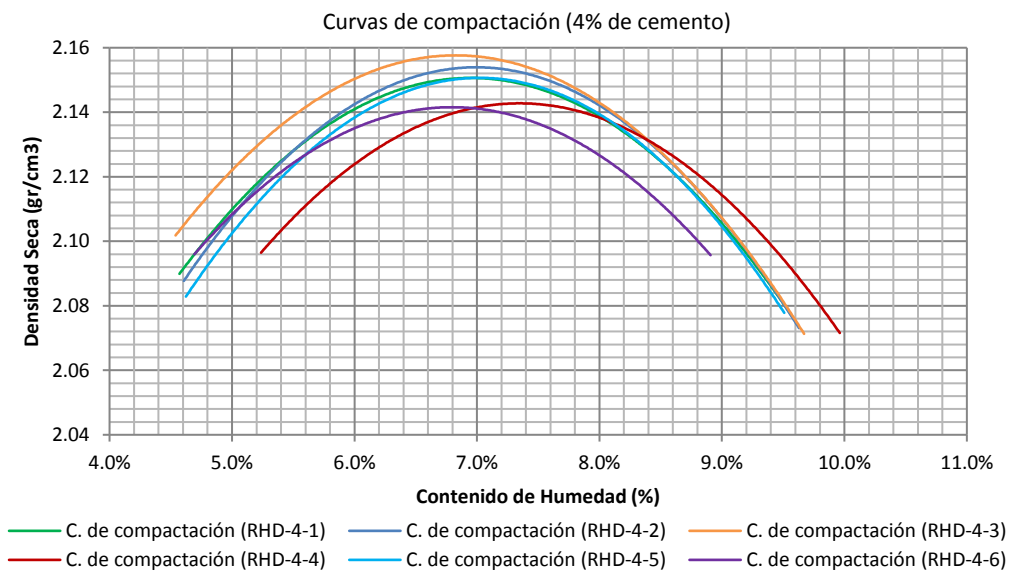


Figura 63 – Curvas de compactación de las muestras de suelo cemento adicionadas con 4% de cemento

Tabla 67 – Contenidos de humedad óptimo y máximas densidades secas de los ensayos de compactación de las muestras de suelo-cemento adicionadas con 4% de cemento

Muestra	Máxima densidad seca (gr/cm ³)	Contenido de humedad óptimo (%)
RHD - 4 - 1	2.151	6.95%
RHD - 4 - 2	2.154	6.99%
RHD - 4 - 3	2.158	6.83%
RHD - 4 - 4	2.143	7.35%
RHD - 4 - 5	2.151	7.02%
RHD - 4 - 6	2.142	6.80%
Promedio	2.150	6.99%

En la Figura 64 se observan las curvas de compactación de las muestras de suelo cemento adicionadas con 6% de cemento, y la Tabla 68 muestra el resumen de resultados de las muestras adicionadas con 6% de cemento.

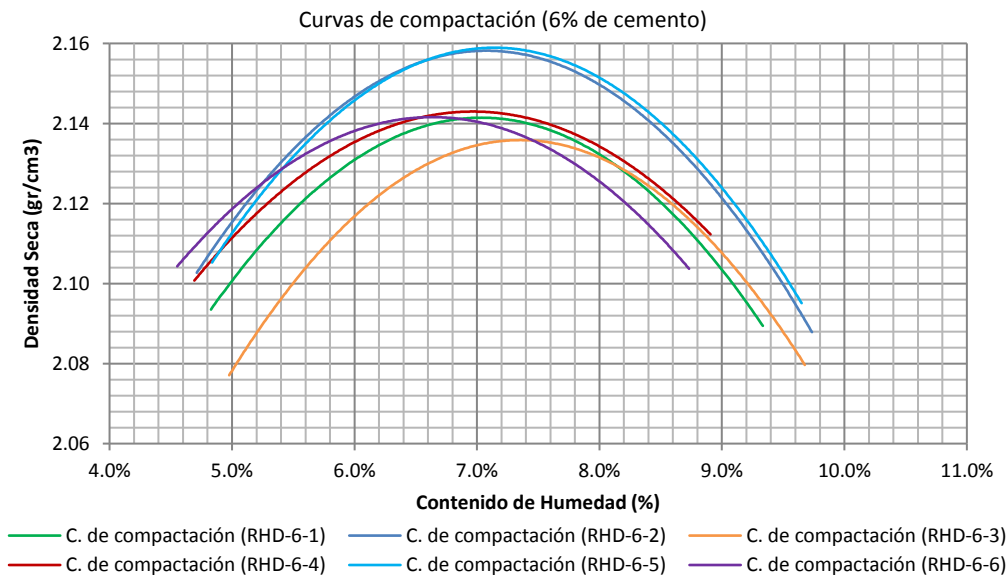


Figura 64 – Curvas de compactación de las muestras de suelo-cemento adicionadas con 6% de cemento

Tabla 68 – Contenidos de humedad óptimo y máximas densidades secas de los ensayos de compactación de las muestras de suelo-cemento adicionadas con 6% de cemento

Muestra	Máxima densidad seca (gr/cm ³)	Contenido de humedad óptimo (%)
RHD - 6 - 1	2.141	7.04%
RHD - 6 - 2	2.158	7.08%
RHD - 6 - 3	2.136	7.35%
RHD - 6 - 4	2.143	6.97%
RHD - 6 - 5	2.159	7.14%
RHD - 6 - 6	2.142	6.63%
Promedio	2.147	7.03%

Las diferencias entre los resultados de contenido de humedad óptimo promedio y máxima densidad seca promedio de mezclas con 2%, 4% y 6% de cemento son mínimas o no varían, esto se debe a que la cantidad de cemento añadida es pequeña y no influyó en la compactación,

de igual forma con respecto a los obtenidos con el suelo natural. Además, los resultados de los ensayos de compactación presentaron pequeñas variaciones, brindaron resultados confiables.

3.6.2.2. Elaboración de testigos de suelo cemento

Para verificar la adecuada elaboración de los testigos de suelo cemento, se determinaron el contenido de humedad y la densidad seca de compactación.

El procedimiento fue el siguiente:

- $Volumen\ del\ molde = \frac{\pi * (Promedio\ de\ los\ diámetros)^2}{4} * (Promedio\ de\ las\ alturas)$
- $Peso\ suelo\ compactado = Peso(molde + suelo\ compactado) - Peso\ del\ molde$
- $Contenido\ de\ humedad = \frac{Peso\ del\ agua}{Peso\ de\ la\ muestra\ seca} * 100$
- $Densidad\ húmeda = \frac{Peso\ suelo\ compactado}{Volumen\ del\ molde}$
- $Densidad\ seca = \frac{Densidad\ húmeda}{1 + Contenido\ de\ humedad}$
- $Grado\ de\ compactación = \frac{Densidad\ seca\ del\ testigo}{Máxima\ densidad\ seca}$
- $Diferencia\ de\ humedad = Contenido\ de\ humedad\ del\ testigo - Contenido\ de\ humedad\ óptimo$

La Tabla 69 muestra los resultados de la elaboración de testigos con 2% de cemento.

Tabla 69 – Cálculos de la elaboración de testigos con 2% de cemento

PORCENTAJE DE CEMENTO: 2%						
Densidad de la muestra						
Máxima densidad seca (gr/cm3)	2.150			Contenido de humedad óptimo		7.17%
Muestra	RHD - 2 - 1	RHD - 2 - 2	RHD - 2 - 3	RHD - 2 - 4	RHD - 2 - 5	RHD - 2 - 6
Molde	1	1	1	1	1	1
Volúmen del Molde (cm3)	942.18	942.18	942.18	942.18	942.18	942.18
Peso Molde (gr)	4172.00	4172.00	4172.00	4172.00	4172.00	4172.00
Peso Molde + Suelo Compactado (gr)	6349.00	6339.00	6343.00	6346.00	6342.00	6350.00
Peso Suelo Compactado (gr)	2177.00	2167.00	2171.00	2174.00	2170.00	2178.00
Densidad Húmeda (gr/cm3)	2.31	2.30	2.30	2.31	2.30	2.31
Densidad Seca (gr/cm3)	2.15	2.15	2.15	2.15	2.15	2.15
Grado de compactación (%)	100.12%	100.06%	100.24%	100.19%	100.09%	100.09%
Contenido de Humedad						
Cápsula	T-26	T-25	T-15	T-8	T-13	T-17
Peso Cápsula (gr)	68.22	68.42	66.86	66.58	67.05	69.28
Peso de Muestra Húmeda + Cápsula (gr)	574.56	581.26	566.12	580.19	571.94	587.25
Peso de Muestra Seca + Cápsula (gr)	539.85	548.04	533.73	546.00	538.73	551.36
Peso Agua (gr)	34.71	33.22	32.39	34.19	33.21	35.89
Peso Muestra Seca (gr)	471.63	479.62	466.87	479.42	471.68	482.08
Contenido de Humedad (%)	7.36%	6.93%	6.94%	7.13%	7.04%	7.44%
Diferencia en base al de diseño	0.19%	-0.25%	-0.23%	-0.04%	-0.13%	0.27%

Los cálculos de los testigos elaborados con 2%, 4% y 6% de cemento se encuentran en el Anexo 9 (pág. 170).

Los resultados de contenido de humedad y densidad seca de los testigos elaborados con 2%, 4% y 6% de cemento se observan en la Figura 65 y en la Tabla 70.

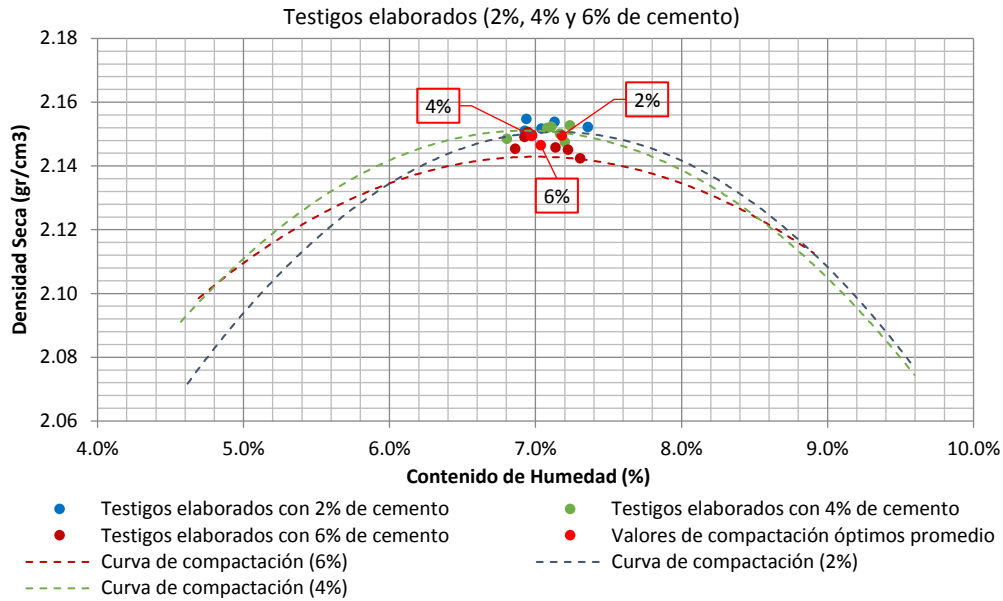


Figura 65 - Contenidos de humedad y densidades secas de testigos elaborados con 2%, 4% y 6% de cemento

Tabla 70 – Valores de densidad seca y contenido de humedad de testigos elaborados con 2%, 4% y 6% de cemento

Muestra	% de Cemento	Densidad seca (gr/cm ³)	Contenido de humedad (%)	Máxima densidad seca (gr/cm ³)	Contenido de humedad óptimo
TSC - 2 - 1	2%	2.152	7.36%	2.150	7.17%
TSC - 2 - 2	2%	2.151	6.93%		
TSC - 2 - 3	2%	2.155	6.94%		
TSC - 2 - 4	2%	2.154	7.13%		
TSC - 2 - 5	2%	2.152	7.04%		
TSC - 2 - 6	2%	2.151	7.44%		
TSC - 4 - 1	4%	2.147	7.20%	2.150	6.99%
TSC - 4 - 2	4%	2.148	6.80%		
TSC - 4 - 3	4%	2.153	7.24%		
TSC - 4 - 4	4%	2.150	7.17%		
TSC - 4 - 5	4%	2.152	7.11%		
TSC - 4 - 6	4%	2.152	7.08%		
TSC - 6 - 1	6%	2.145	7.22%	2.147	7.03%
TSC - 6 - 2	6%	2.146	7.14%		
TSC - 6 - 3	6%	2.145	6.86%		
TSC - 6 - 4	6%	2.149	6.92%		
TSC - 6 - 5	6%	2.151	6.95%		
TSC - 6 - 6	6%	2.142	7.31%		

En los resultados de humedad y densidad seca de los testigos elaborados se puede observar el efecto de dispersión, sin embargo, estos resultados están próximos a los valores de compactación óptimos promedio determinados previamente.

3.6.2.3. Resistencia a compresión

El cálculo de la resistencia a compresión se realizó como se muestra a continuación:

- Área de la sección transversal = $\frac{\pi \cdot (\text{Promedio de diámetros superiores e inferiores})^2}{4}$
- Resistencia a compresión = $\frac{\text{Carga de rotura}}{\text{Área de la sección transversal}}$

Se aplicó un factor de corrección, de 1/1.1, debido a que los especímenes tienen una relación de h/d de 1.15 y, por ende, dan un resultado mayor de resistencia a compresión.

La Tabla 71 muestra los cálculos realizados para determinar la resistencia a compresión de los testigos elaborados con 4% de cemento.

Tabla 71 – Cálculos para determinar la resistencia a compresión de testigos elaborados con 4% de cemento

4% DE CEMENTO								
Especimen	Diámetro Superior		Diámetro Inferior		Altura		Carga de rotura (kg)	Resist. Compresión (kg/cm ²)
	1 (cm)	2 (cm)	1 (cm)	2 (cm)	1 (cm)	2 (cm)		
TSC - 4 - 1	10.17	10.17	10.16	10.17	11.66	11.67	2100	23.5
TSC - 4 - 2	10.17	10.17	10.16	10.17	11.67	11.69	1820	20.4
TSC - 4 - 3	10.17	10.16	10.18	10.17	11.67	11.68	2040	22.8
TSC - 4 - 4	10.16	10.17	10.18	10.18	11.69	11.68	1990	22.3
TSC - 4 - 5	10.17	10.16	10.17	10.16	11.68	11.67	1970	22.1
TSC - 4 - 6	10.17	10.17	10.16	10.18	11.68	11.69	1870	20.9
Promedio								22.0

Los cálculos de los especímenes elaborados con 2%, 4% y 6% de cemento se encuentran en el Anexo 10 (pág. 171).

Los resultados de resistencia a compresión los testigos elaborados con 2%, 4% y 6% de cemento, se muestran en la Tabla 72.

Tabla 72 – Valores de resistencia a la compresión de testigos elaborados con 2%, 4% y 6% de cemento a 7 días de curado húmedo

Especimen	Resist. Compresión (kg/cm ²)	Especimen	Resist. Compresión (kg/cm ²)	Especimen	Resist. Compresión (kg/cm ²)
TSC - 2 - 1	12.0	TSC - 4 - 1	23.5	TSC - 6 - 1	34.3
TSC - 2 - 2	11.1	TSC - 4 - 2	20.4	TSC - 6 - 2	33.9
TSC - 2 - 3	10.9	TSC - 4 - 3	22.8	TSC - 6 - 3	32.6
TSC - 2 - 4	11.0	TSC - 4 - 4	22.3	TSC - 6 - 4	33.6
TSC - 2 - 5	12.3	TSC - 4 - 5	22.1	TSC - 6 - 5	34.2
TSC - 2 - 6	12.9	TSC - 4 - 6	20.9	TSC - 6 - 6	34.8
Promedio	11.7	Promedio	22.0	Promedio	33.9

En los resultados de resistencia a compresión de testigos elaborados con 2%, 4% y 6% de cemento se puede observar el efecto de dispersión, además, estos incrementan a medida que aumenta el contenido de cemento.

3.6.2.4. Mínima cantidad de cemento

La mínima cantidad de cemento se determinó mediante un gráfico de resistencia a compresión en función del contenido de cemento. En este se determinó el porcentaje de cemento necesario para alcanzar una resistencia superior (en 20%) a la mínima (18 kg/cm²), 21.6 kg/cm². La gráfica se muestra en la Figura 66.

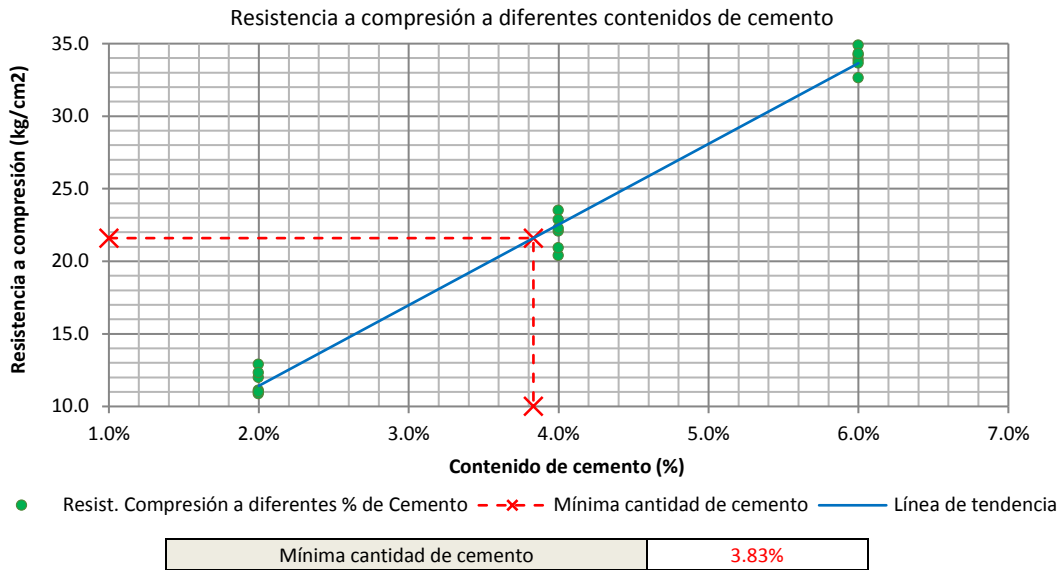


Figura 66 - Determinación del mínimo contenido de cemento para suelo cemento (resistencia a compresión a 7 días \geq 18 kg/cm²). Se ha escogido el porcentaje de cemento que proporcione una resistencia un 20% superior a la mínima (21.6 kg/cm²).

En la Figura 66, se puede observar que el incremento de resistencia presenta una tendencia ascendente, así como también, que el contenido de cemento necesario para alcanzar la resistencia mínima (excedida en 20%) es reducido, 3.83%.

3.6.3. Análisis de sensibilidad de la mezcla de suelo cemento

3.6.3.1. Elaboración de testigos

Para la mezcla de suelo cemento con mínima cantidad de cemento (3.83%) los valores de humedad óptima y máxima densidad seca, se determinaron por interpolación, debido, a que estos valores no presentan una gran variación para mezclas con 2% y 4% de cemento.

El resultado de la interpolación se observa en la Tabla 73.

Tabla 73 – Determinación de la humedad óptima y la máxima densidad seca para un suelo-cemento con 3.83% de cemento

Contenido de cemento	Contenido de humedad óptimo	Máxima densidad seca (gr/cm ³)
2.00%	7.17%	2.150
3.83%	7.00%	2.150
4.00%	6.99%	2.150

El procedimiento de los cálculos fue el mismo que el realizado en la elaboración de testigos para determinar la mínima cantidad de cemento (pág. 96). Estos, se muestra en los Anexos 11 y 14 (pág. 172 y 175).

Los resultados de contenido de humedad, de los testigos elaborados para el análisis de sensibilidad por humedad de compactación, se observan en la Figura 67 y en la Tabla 74.

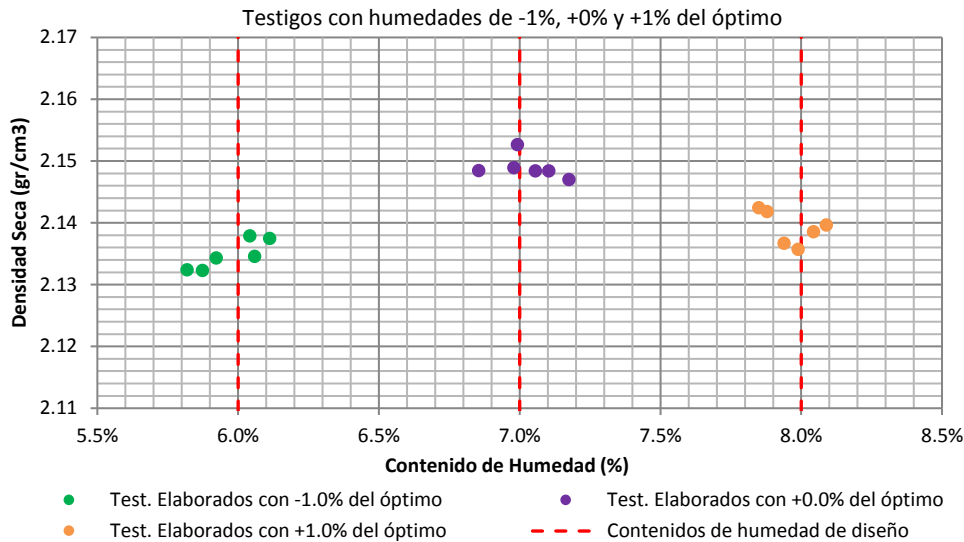
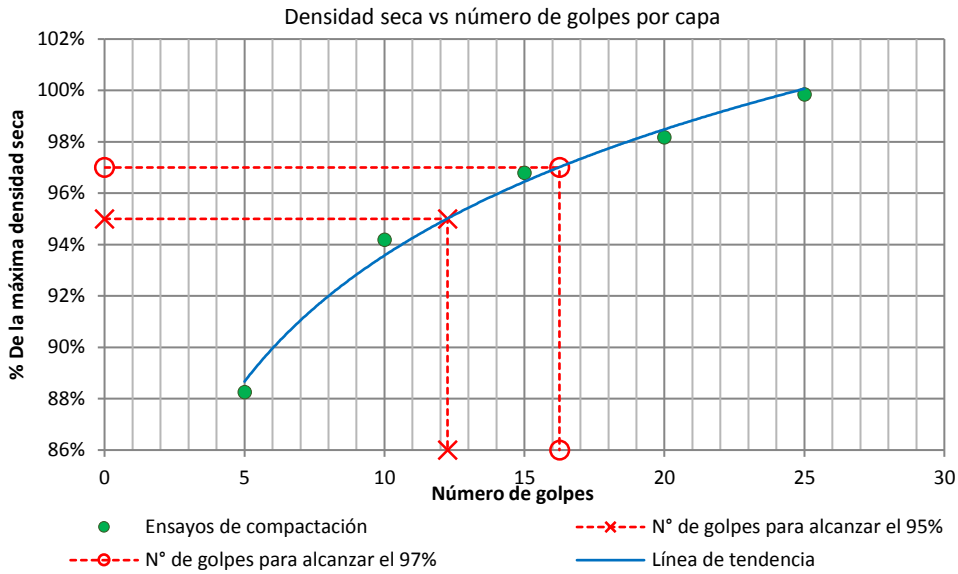


Figura 67 – Contenidos de humedad de testigos se suelo cemento elaborados para el análisis de sensibilidad por humedad de compactación, con humedades de -1%, +0% y +1% respecto a la óptima.

Tabla 74 - Contenidos de humedad de los testigos de suelo-cemento elaborados para el análisis de sensibilidad por humedad de compactación

Muestra	Contenido de humedad	Contenido de humedad de diseño
TSC - OP-1 - 1	6.11%	6.00%
TSC - OP-1 - 2	6.06%	
TSC - OP-1 - 3	5.82%	
TSC - OP-1 - 4	5.87%	
TSC - OP-1 - 5	6.04%	
TSC - OP-1 - 6	5.92%	
TSC - OP+0 - 1	6.85%	7.00%
TSC - OP+0 - 2	7.06%	
TSC - OP+0 - 3	6.98%	
TSC - OP+0 - 4	7.18%	
TSC - OP+0 - 5	6.99%	
TSC - OP+0 - 6	7.10%	
TSC - OP+1 - 1	7.99%	8.00%
TSC - OP+1 - 2	7.94%	
TSC - OP+1 - 3	8.09%	
TSC - OP+1 - 4	7.88%	
TSC - OP+1 - 5	7.85%	
TSC - OP+1 - 6	8.04%	

Previamente a la elaboración de testigos de suelo cemento para el análisis de sensibilidad por la densidad de compactación, se determinó el número de golpes por capa necesarios para alcanzar densidades secas del 95% y 97% de la máxima (Anexo 13, pág. 174). En la Figura 68, se observa el gráfico de grado de compactación en función del número de golpes por capa, para una mezcla de suelo cemento con 3.83% de cemento.



Porcentaje de la máxima densidad seca	95%	N° de golpes por capa necesarios	12.25 ≈ 12
Porcentaje de la máxima densidad seca	97%	N° de golpes por capa necesarios	16.25 ≈ 16

Figura 68 – Determinación del número de golpes por capa necesarios para alcanzar densidades secas del 95% y del 97% de la máxima (2.043 y 2.086) en una mezcla de suelo-cemento con 3.83% de cemento

Los resultados de densidad seca de los testigos elaborados para el análisis de sensibilidad por densidad de compactación se observan en la Figura 69 y la Tabla 75.

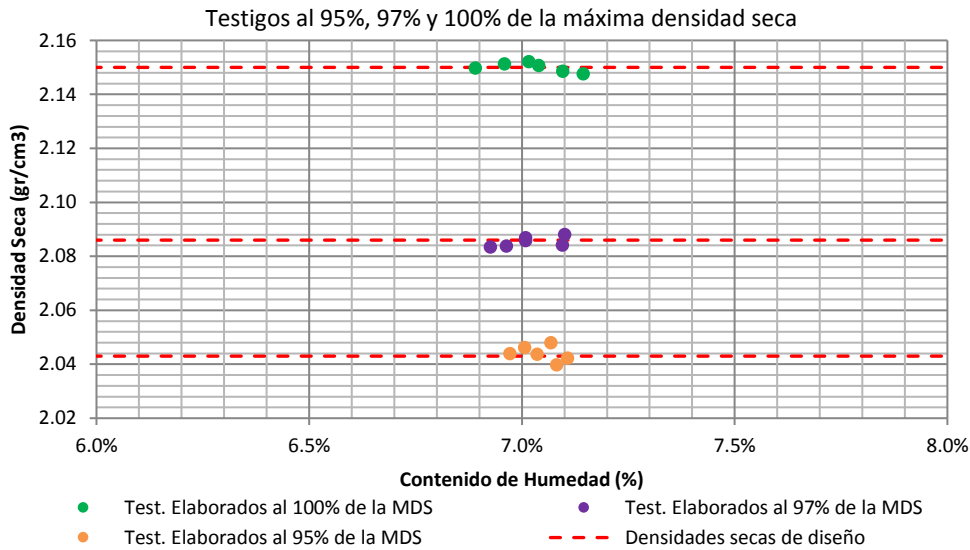


Figura 69 – Densidades secas de testigos de suelo-cemento elaborados al 100%, 97% y 95% de la máxima; para el análisis de sensibilidad por densidad de compactación.

Tabla 75 – Densidades secas de testigos de suelo cemento elaborados para el análisis de sensibilidad por densidad de compactación

Muestra	Densidad seca	Grado de compactación	Densidad de diseño	Máxima densidad seca
TSC - 100 - 1	2.151	100.06%	2.15 (100%)	2.150
TSC - 100 - 2	2.151	100.03%		
TSC - 100 - 3	2.148	99.89%		
TSC - 100 - 4	2.149	99.93%		
TSC - 100 - 5	2.152	100.10%		
TSC - 100 - 6	2.150	99.99%		
TSC - 97 - 1	2.084	96.92%	2.09 (97%)	
TSC - 97 - 2	2.088	97.12%		
TSC - 97 - 3	2.087	97.06%		
TSC - 97 - 4	2.084	96.94%		
TSC - 97 - 5	2.083	96.91%		
TSC - 97 - 6	2.086	97.02%		
TSC - 95 - 1	2.040	94.88%	2.04 (95%)	
TSC - 95 - 2	2.044	95.07%		
TSC - 95 - 3	2.048	95.26%		
TSC - 95 - 4	2.044	95.06%		
TSC - 95 - 5	2.046	95.17%		
TSC - 95 - 6	2.042	94.99%		

En la elaboración de testigos para el análisis de sensibilidad por humedad y densidad de compactación, se observa la dispersión de los resultados de humedad y densidad seca, sin embargo, estos se encuentran próximos a los valores de diseño.

En la Figura 68 (pág. 101), se puede observar que la densidad seca incrementa en función del número de golpes por capa, con una tendencia logarítmica. Este incremento reduce a medida que la energía de compactación es mayor.

3.6.3.2. Resistencia a compresión

El procedimiento de los cálculos fue el mismo que los realizados para determinar la mínima cantidad de cemento (pág. 97). Estos se encuentran en los Anexos 12 y 15 (págs. 173 y 176).

En las Tablas 76 y 77 se observan los resultados de resistencia a compresión de los testigos de suelo cemento elaborados para el análisis de sensibilidad por humedad (Tabla 76) y densidad de compactación (Tabla 77).

Tabla 76 - Valores de resistencia a la compresión de testigos elaborados (a 7 días de curado húmedo) para el análisis de sensibilidad por humedad de compactación

Espécimen	Resist. Compresión (kg/cm ²)	Espécimen	Resist. Compresión (kg/cm ²)	Espécimen	Resist. Compresión (kg/cm ²)
TSC - OP-1 - 1	18.6	TSC - OP+0 - 1	21.6	TSC - OP+1 - 1	20.1
TSC - OP-1 - 2	17.5	TSC - OP+0 - 2	21.8	TSC - OP+1 - 2	20.6
TSC - OP-1 - 3	17.7	TSC - OP+0 - 3	22.7	TSC - OP+1 - 3	20.9
TSC - OP-1 - 4	18.2	TSC - OP+0 - 4	22.3	TSC - OP+1 - 4	20.0
TSC - OP-1 - 5	18.5	TSC - OP+0 - 5	23.0	TSC - OP+1 - 5	21.5
TSC - OP-1 - 6	17.9	TSC - OP+0 - 6	20.7	TSC - OP+1 - 6	20.3
Promedio	18.1	Promedio	22.0	Promedio	20.6

Tabla 77 - Valores de resistencia a la compresión de testigos elaborados (a 7 días de curado húmedo) para el análisis de sensibilidad por densidad de compactación

Espécimen	Resist. Compresión (kg/cm ²)	Espécimen	Resist. Compresión (kg/cm ²)	Espécimen	Resist. Compresión (kg/cm ²)
TSC - 100 - 1	22.9	TSC - 97 - 1	15.8	TSC - 95 - 1	11.0
TSC - 100 - 2	21.5	TSC - 97 - 2	17.0	TSC - 95 - 2	12.0
TSC - 100 - 3	21.4	TSC - 97 - 3	16.8	TSC - 95 - 3	13.2
TSC - 100 - 4	20.4	TSC - 97 - 4	14.2	TSC - 95 - 4	10.8
TSC - 100 - 5	20.3	TSC - 97 - 5	16.7	TSC - 95 - 5	11.9
TSC - 100 - 6	22.4	TSC - 97 - 6	16.6	TSC - 95 - 6	11.7
Promedio	21.5	Promedio	16.2	Promedio	11.8

Los resultados de resistencia a compresión de los testigos elaborados a humedades y densidades secas diferentes varían, obteniendo menores valores de resistencia a compresión según la densidad seca disminuye.

3.6.3.3. Sensibilidad por humedad de compactación

La sensibilidad por humedad de compactación se analizó mediante un gráfico de los valores de resistencia a compresión en función de la humedad de compactación, para testigos elaborados con 3.83% de cemento. La grafica se muestra en la Figura 70.

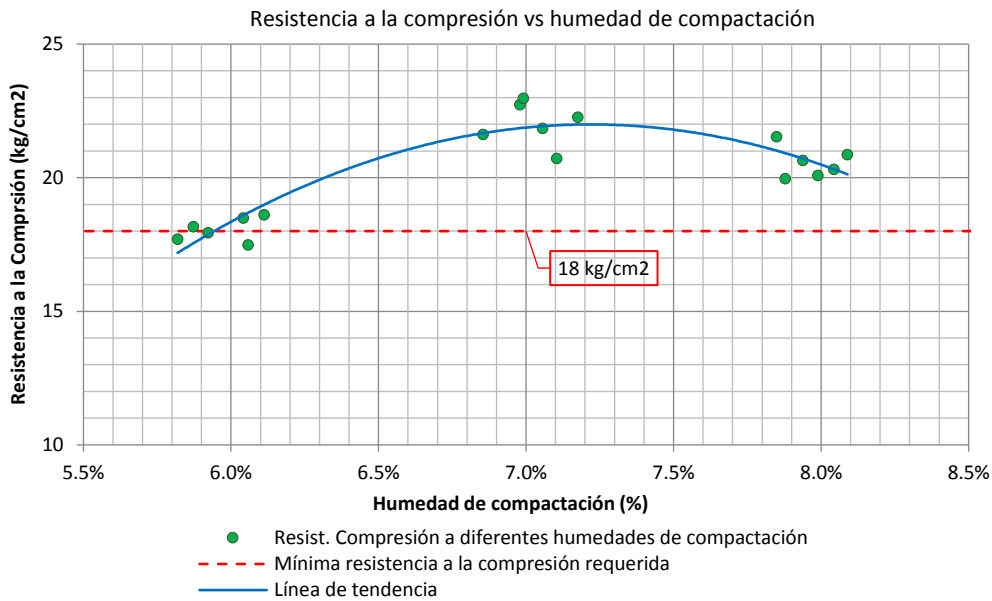


Figura 70 - Variación de la resistencia a compresión en función de la humedad de compactación para un suelo-cemento con 3.83% de cemento y energía de compactación de Proctor Modificado

En el análisis de sensibilidad por humedad de compactación, se observa que la resistencia a compresión disminuye a medida que la humedad de compactación se aleja de la óptima.

3.6.3.4. Sensibilidad por densidad de compactación

La sensibilidad por densidad de compactación se analizó mediante un gráfico de los valores de resistencia a la compresión en función de la densidad seca alcanzada en la compactación, en testigos elaborados con 3.83% de cemento. La grafica se muestra en la Figura 71.

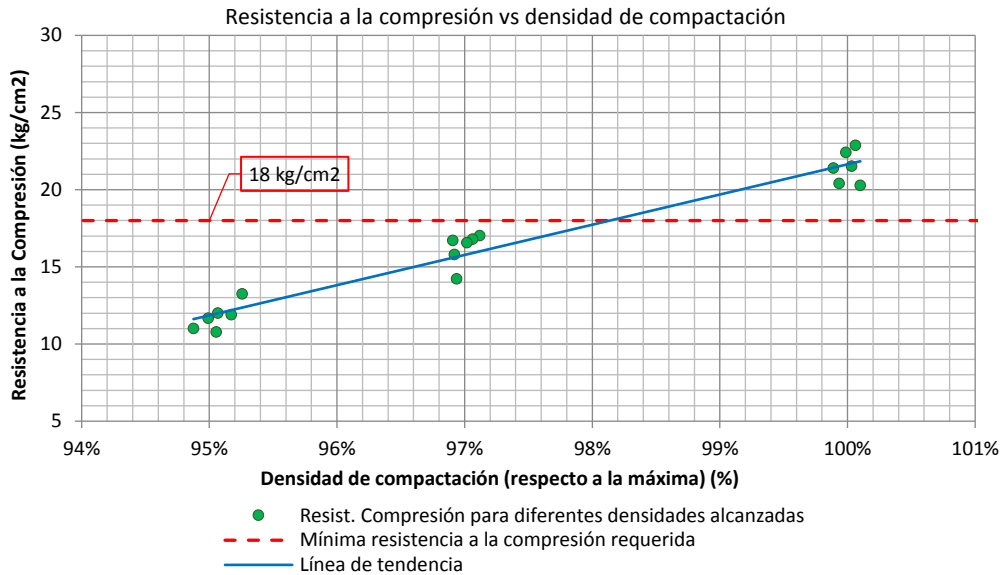


Figura 71 - Variación de la resistencia a compresión en función de la densidad de compactación para un suelo-cemento con 3.83% de cemento y energía de compactación de Proctor Modificado

En el análisis de sensibilidad por densidad de compactación, se observa que la resistencia a compresión es menor a medida que la densidad seca alcanzada en la compactación disminuye, observándose, que para una reducción de 5% en la densidad seca la resistencia a compresión disminuye un 50%, aproximadamente; y que la mínima densidad seca necesaria (respecto a la máxima) para alcanzar la mínima resistencia a compresión requerida (18 kg/cm²) es de 98%, aproximadamente.

3.6.4. Valor relativo de soporte

3.6.4.1. CBR de suelo natural

El procedimiento que se realizó para los cálculos del ensayo son los siguientes:

- $Volumen\ del\ molde = \frac{\pi \cdot (Promedio\ de\ los\ diámetros)^2}{4} \cdot (Promedio\ de\ las\ alturas)$
- $Peso\ suelo\ compactado = Peso(molde + suelo\ compactado) - Peso\ del\ molde$
- $Contenido\ de\ humedad\ antes\ de\ la\ inmersión = \frac{Peso\ del\ agua}{Peso\ de\ la\ muestra\ seca} \cdot 100$
- $Densidad\ seca = \frac{Peso\ suelo\ compactado}{1 + Contenido\ de\ humedad} / Volumen\ del\ molde$
- $Expansión = \frac{Deformación\ por\ hinchamiento}{Altura\ promedio\ del\ molde - Altura\ del\ disco\ espaciador} \cdot 100$
- $Peso\ del\ agua\ absorbida = Peso\ del\ molde + muestra\ compactada\ (antes\ de\ sumergirse) - Peso\ del\ molde + muestra\ compactada\ (después\ de\ sumergirse)$
- $Absorción = \frac{Peso\ del\ agua\ absorbida}{Peso\ del\ suelo\ húmedo\ compactado / 1 + Contenido\ de\ humedad\ de\ compactación}$

- $Esfuerzo = \frac{Carga}{\text{Área del pistón}}$
- $CBR = \frac{Esfuerzo}{Esfuerzo patrón} * 100$

Los cálculos de los volúmenes de los moldes utilizados se encuentran en el Anexo 4 (pág. 161). La Tabla 78 muestra los cálculos realizados en la muestra CBR – SN – 01.

Tabla 78 - Cálculos realizados para la muestra CBR – SN – 01, ensayo de CBR de suelo natural

DENSIDAD DE LA MUESTRA											
Descripción			Especímen 01			Especímen 02			Especímen 03		
Número de Golpes por Capa			56			25			12		
Molde			M - 1			B - 1			D - 1		
Volumen de la Muestra Compactada (cm3)			2118.22			2114.62			2121.48		
Peso del Molde (gr)			7362			6821			7156		
Condición de la muestra			Sin sumergir		Sumergida	Sin sumergir		Sumergida	Sin sumergir		Sumergida
Peso del Molde + Muestra Compactada (gr)			12206		12329	11468		11654	11592		11833
Peso de la Muestra Compactada (gr)			4844		4967	4647		4833	4436		4677
Densidad Seca (gr/cm3)			2.13			2.05			1.95		
Peso del Agua Absorbida (gr)			-		123	-		186	-		241
Porcentaje de Absorción			-			2.72%	-			4.29%	5.82%
CONTENIDO DE HUMEDAD											
Descripción			Especímen 01			Especímen 02			Especímen 03		
Condición de la muestra			Sin sumergir		Sumergida	Sin sumergir		Sumergida	Sin sumergir		Sumergida
Cápsula			T-28	D-1	T-15	A-2	T-13	T-12	T-5	A-1	T-20
Peso Cápsula (gr)			65.84		71.48	67.09		66.92	71.06		67.66
Peso de Muestra Húmeda + Cápsula (gr)			571.53		586.5	591.93		580.2	577.43		577.82
Peso de Muestra Seca + Cápsula (gr)			537.63		552.3	557.02		545.68	543.52		544.11
Peso Agua (gr)			33.9		34.2	34.91		34.52	33.91		33.71
Peso Muestra Seca (gr)			471.79		480.82	489.93		478.76	472.46		476.45
Contenido de Humedad (%)			7.19%		7.11%	7.13%		7.21%	7.18%		7.08%
Promedio (%)			7.15%			10.75%	7.17%			12.56%	13.16%
DATOS DEL ENSAYO DE EXPANSIÓN											
Fecha			Especímen 01			Especímen 02			Especímen 03		
	Hora	Tiempo Transcurrido	Dial *0.001	Deform. (mm)	Expansión (%)	Dial *0.001	Deform. (mm)	Expansión (%)	Dial *0.001	Deform. (mm)	Expansión (%)
27/02/2018	16:00	00:00 hrs	0.0	0.000	0.00%	0.0	0.000	0.00%	0.0	0.000	0.00%
28/02/2018	15:30	23:30 hrs	21.0	0.525	0.45%	80.6	2.015	1.74%	88.7	2.218	1.91%
01/03/2018	15:15	47:15 hrs	45.8	1.145	0.98%	84.0	2.100	1.81%	90.2	2.255	1.94%
02/03/2018	16:00	72:00 hrs	59.8	1.495	1.28%	84.0	2.100	1.81%	91.2	2.280	1.96%
03/03/2018	17:00	97:00 hrs	68.8	1.720	1.48%	84.0	2.100	1.81%	91.2	2.280	1.96%
DATOS DEL ENSAYO DE PENETRACIÓN (CBR)											
Carga Unitaria Patrón (kg/cm2)		Especímen 01			Especímen 02			Especímen 03			
	Dial *0.001"	Penetración (mm)	Fuerza (kg)	Esfuerzo (Kg/cm2)	CBR (%)	Fuerza (kg)	Esfuerzo (Kg/cm2)	CBR (%)	Fuerza (kg)	Esfuerzo (Kg/cm2)	CBR (%)
	0	0.000	0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	0.00	
	25	0.635	58.71	2.90		32.13	1.58		18.97	0.94	
	50	1.270	115.31	5.69		72.53	3.58		31.51	1.55	
	75	1.905	173.24	8.55		118.41	5.84		40.28	1.99	
70.31	100	2.540	232.33	11.46	16.30%	163.15	8.05	11.45%	47.06	2.32	3.30%
	125	3.175	285.12	14.07		201.11	9.92		53.53	2.64	
	150	3.810	328.91	16.23		235.53	11.62		59.86	2.95	
105.46	200	5.080	401.69	19.82	18.79%	280.16	13.82	13.11%	67.81	3.35	3.17%
	300	7.620	515.00	25.41		339.56	16.75		85.65	4.23	
	400	10.160	605.73	29.88		383.41	18.92		102.89	5.08	
	500	12.700	690.89	34.08		427.25	21.08		118.39	5.84	

Los cálculos para todos los especímenes ensayados se encuentran en el Anexo 16 (pág. 177).

Se graficó las curvas de esfuerzo-penetración y se determinaron los esfuerzos para penetraciones de 2.54 mm y 5.08 mm.

En la Figura 72 se observan las curvas de esfuerzo-penetración para el juego de especímenes de la muestra CBR – SN – 01.

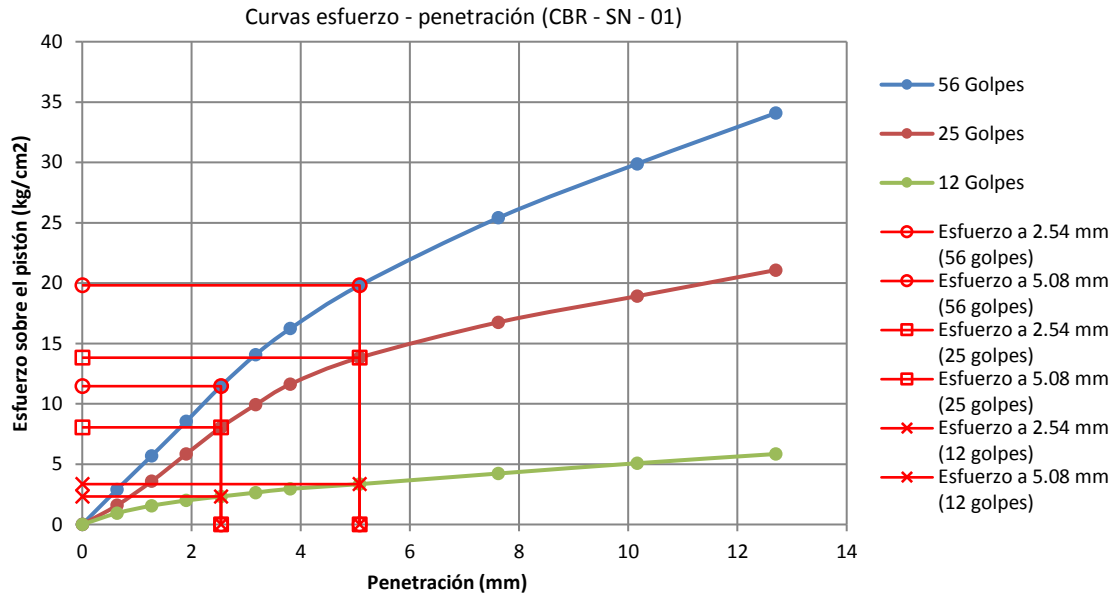


Figura 72 – Gráfica de curvas de esfuerzo en función de la penetración de los especímenes (56, 25 y 12 golpes) de la muestra CBR – SN – 01

Con estos esfuerzos se calcularon los valores de CBR, para 2.54 mm y 5.08 mm, y se consideró el mayor de estos como el valor de CBR. Con los valores de CBR, se elaboró el gráfico de CBR-Densidad seca y una línea de tendencia, con esta última, se determinó el valor de CBR al 100% de la máxima densidad seca.

La Figura 73 muestra la gráfica de CBR-Densidad seca para el juego de especímenes de la muestra CBR – SN – 01, su línea de tendencia y el valor de CBR al 100% de la máxima densidad seca.

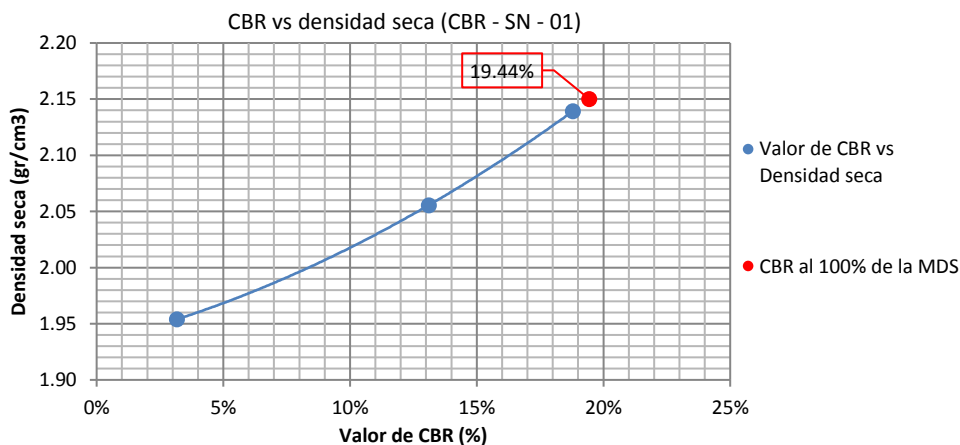


Figura 73 – Gráfica del CBR en función de la densidad seca de la muestra CBR – SN – 01

En la Tabla 79 se observa el resumen de los resultados de las muestras de suelo natural.

Tabla 79 – Resultados de los ensayos de CBR para muestras de suelo natural

Muestra	Espécimen	Densidad seca (gr/cm ³)	Expansión	Absorción	CBR	CBR al 100% de la MDS
CBR - SN - 01	56 golpes	2.13	1.48%	2.72%	18.79%	19.00%
	25 golpes	2.05	1.81%	4.29%	13.11%	
	12 golpes	1.95	1.96%	5.82%	3.17%	
CBR - SN - 02	56 golpes	2.14	2.21%	2.84%	21.75%	21.36%
	25 golpes	2.04	2.04%	4.17%	14.23%	
	12 golpes	1.94	1.85%	5.96%	3.58%	
CBR - SN - 03	56 golpes	2.14	1.56%	2.69%	20.62%	20.66%
	25 golpes	2.05	1.75%	4.57%	12.32%	
	12 golpes	1.96	1.59%	5.95%	3.22%	
					Promedio	20.34%

La Figura 74 muestra las curvas de CBR-Densidad seca para las muestras de suelo natural y el valor de CBR al 100% de la máxima densidad seca.

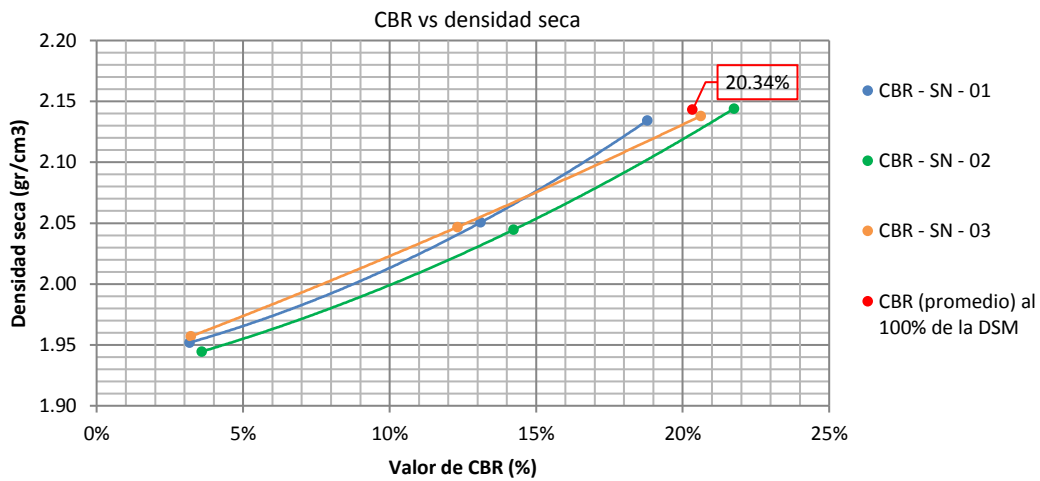


Figura 74 – Curvas de CBR en función de la densidad seca de las muestras de suelo natural

En el ensayo, se observó que los valores de CBR de los especímenes variaron a pesar de alcanzar densidades secas muy similares, esto, puede deberse a la presencia de agregados en la zona próxima al pistón de penetración.

También, se observó que la absorción incrementa a razón que se disminuye la densidad seca de compactación y que la expansión varía entre 1% - 2%, esto a consecuencia del alto contenido de arcilla en el suelo.

3.6.4.2. CBR de suelo cemento

El procedimiento de cálculo fue igual que el realizado en el ensayo de CBR de suelo natural (pág. 104). Y, este se encuentra en los Anexos 4 y 17 (págs. 161 y 180 respectivamente).

La Figura 75 muestra las curvas de esfuerzo-penetración para el juego de especímenes de la muestra CBR – SC – 02, y la Figura 76 muestra su grafica de CBR – Densidad seca.

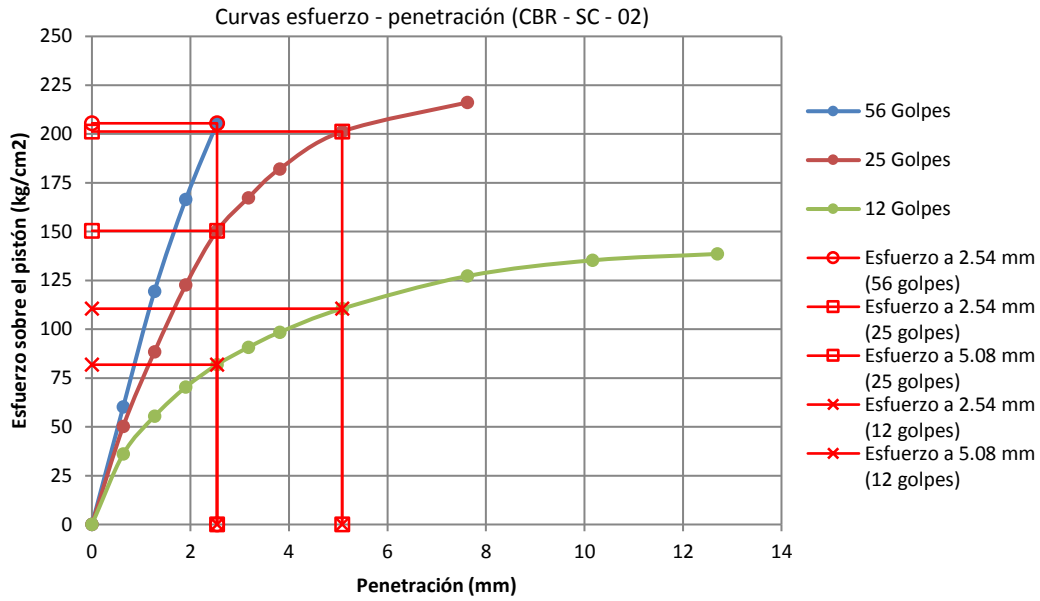


Figura 75 - Gráfica de curvas de esfuerzo en función de la penetración de los especímenes (56, 25 y 12 golpes) de la muestra CBR - SC - 02

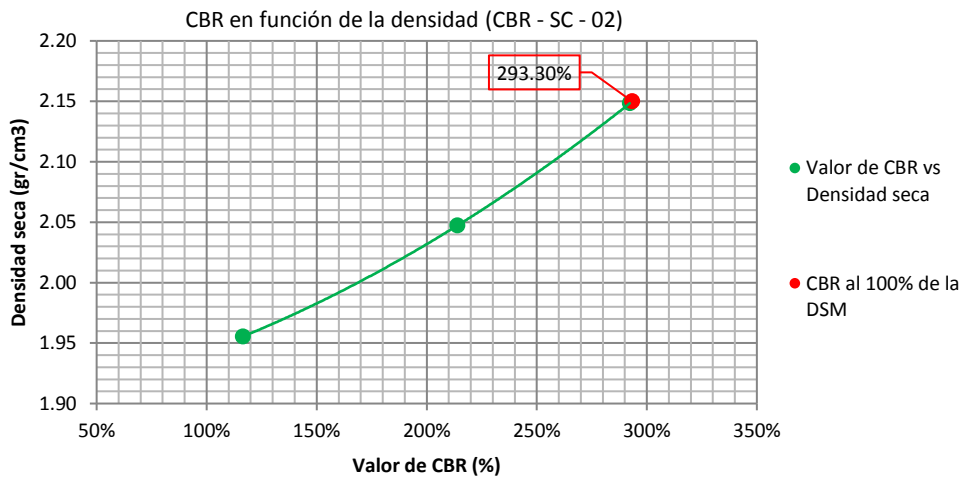


Figura 76 - Gráfica del CBR en función de la densidad seca de la muestra CBR - SC - 02

En la Tabla 80 se observa el resumen de los resultados de las muestras de suelo cemento y la Figura 77 muestra sus curvas de CBR - Densidad seca.

Tabla 80 - Resultados de los ensayos de CBR para muestras de suelo cemento

Muestra	Especímen	Densidad seca (gr/cm³)	Expansión	Absorción	CBR	CBR al 100% de la MDS
CBR - SC - 01	56 golpes	2.14	0.01%	1.10%	297.43%	301.94%
	25 golpes	2.04	0.02%	1.94%	230.93%	
	12 golpes	1.94	0.02%	4.20%	102.39%	
CBR - SC - 02	56 golpes	2.15	0.02%	1.34%	292.26%	293.30%
	25 golpes	2.05	0.02%	1.99%	213.92%	
	12 golpes	1.96	0.02%	3.87%	116.41%	
CBR - SC - 03	56 golpes	2.14	0.02%	1.41%	281.14%	283.86%
	25 golpes	2.03	0.02%	2.04%	214.74%	
	12 golpes	1.97	0.02%	4.22%	110.16%	
	Promedio					293.03%

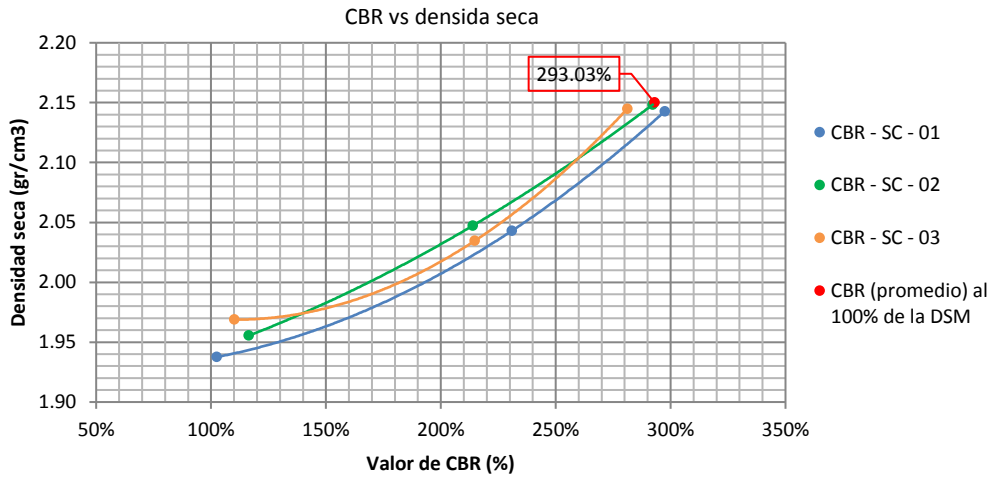


Figura 77 - Gráfica de las curvas de CBR en función de la densidad seca de las muestras de suelo cemento (con 3.83% de cemento)

En el ensayo, se observó que la absorción en los especímenes de suelo cemento es menor que las de suelo natural y, prácticamente, no presentan expansión, esto a consecuencia de la adición de cemento.

También, se observó que los valores de CBR variaron a pesar de que los especímenes alcanzaron densidades similares en la compactación. Además, que los valores de CBR de las muestras de suelo cemento son demasiado altos (> 200%).

3.6.5. Método del ultrasonido

3.6.5.1. Elaboración de testigos

El procedimiento de los cálculos fue igual que el realizado para la determinación de la mínima cantidad de cemento (pág. 96). Estos, se encuentran en el Anexo 18 (pág. 183).

La Figura 78 y la Tabla 81 muestran las humedades y densidades secas de compactación.

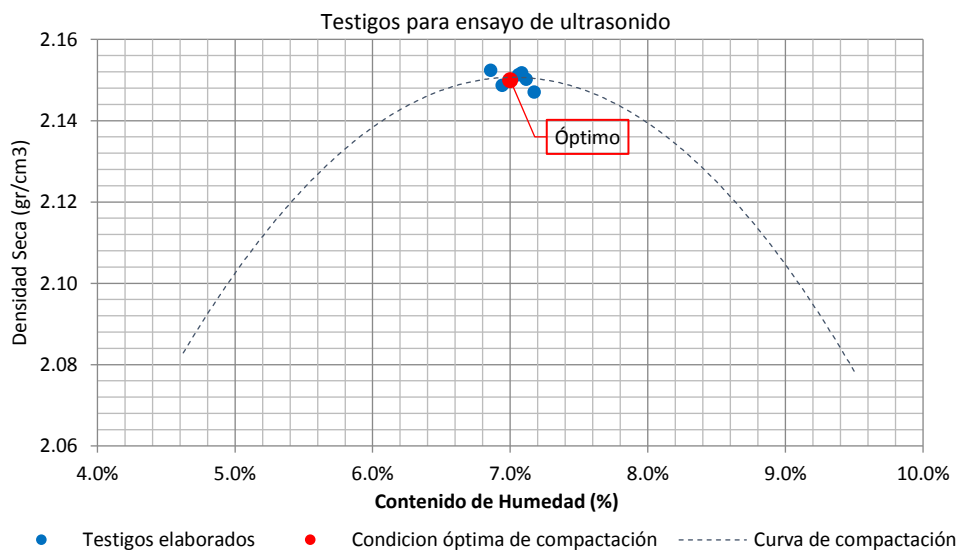


Figura 78 - Humedad y densidad seca de testigos de suelo cemento elaborados con 3.83% de cemento y bajo condiciones de compactación óptimas para ensayo de ultrasonido

Tabla 81 – Humedad y densidad seca de testigos de suelo cemento elaborados para ensayo de pulso de ultrasonido

Espécimen	Densidad seca (gr/cm3)	Contenido de humedad	Máxima densidad seca (gr/cm3)	Contenido de humedad óptimo
TSC - VU - 1	2.147	7.17%	2.150	7.00%
TSC - VU - 2	2.149	6.94%		
TSC - VU - 3	2.152	7.08%		
TSC - VU - 4	2.151	7.06%		
TSC - VU - 5	2.152	6.86%		
TSC - VU - 6	2.150	7.11%		

En la elaboración de los testigos, se observa que se presentan el efecto de dispersión, sin embargo, los valores de humedad y densidad seca de compactación están próximos al óptimo, por ende, los testigos brindan resultados confiables al momento de realizar el ensayo de pulso de ultrasonido.

3.6.5.2. Ensayo de pulso de ultrasonido

En el ensayo se determinó la densidad de los especímenes, para luego poder ser usado en el cálculo del módulo resiliente, como se muestra a continuación:

- $Volumen\ del\ espécimen = \frac{\pi * (Promedio\ de\ los\ diámetros)^2}{4} * (Promedio\ de\ las\ alturas)$
- $Densidad = \frac{Peso\ del\ espécimen}{Volumen\ del\ espécimen}$

La Tabla 82 muestra los cálculos realizados.

Tabla 82 – Densidades de testigos elaborados para ensayo de pulso de ultrasonido

Espécimen	Diámetro (mm)				Altura (mm)		Volumen (cm3)	Peso (gr)	Densidad (gr/cm3)
TSC - VU - 1	101.6	101.4	101.7	101.6	116.7	116.8	946.06	2148.40	2.271
TSC - VU - 2	101.6	101.6	101.5	101.6	116.7	116.5	944.85	2149.40	2.275
TSC - VU - 3	101.7	101.7	101.6	101.7	116.8	116.8	948.33	2149.70	2.267
TSC - VU - 4	101.6	101.6	101.6	101.7	116.8	116.7	947.00	2152.20	2.273
TSC - VU - 5	101.7	101.6	101.7	101.6	116.6	116.8	947.06	2150.50	2.271
TSC - VU - 6	101.6	101.6	101.6	101.7	116.5	116.5	944.97	2147.30	2.272
	Promedio				116.7			Promedio	2.271

Las señales de onda captadas por el equipo (Pundit® PL-200) se pasaron a un ordenador y, con la ayuda del software PL-Link, se visualizaron, para luego, poder exportar la señal de onda a una hoja de cálculo. La Figura 79 muestra las señales de onda visualizadas con el software PL-Link (Anexo 19, pág. 184).

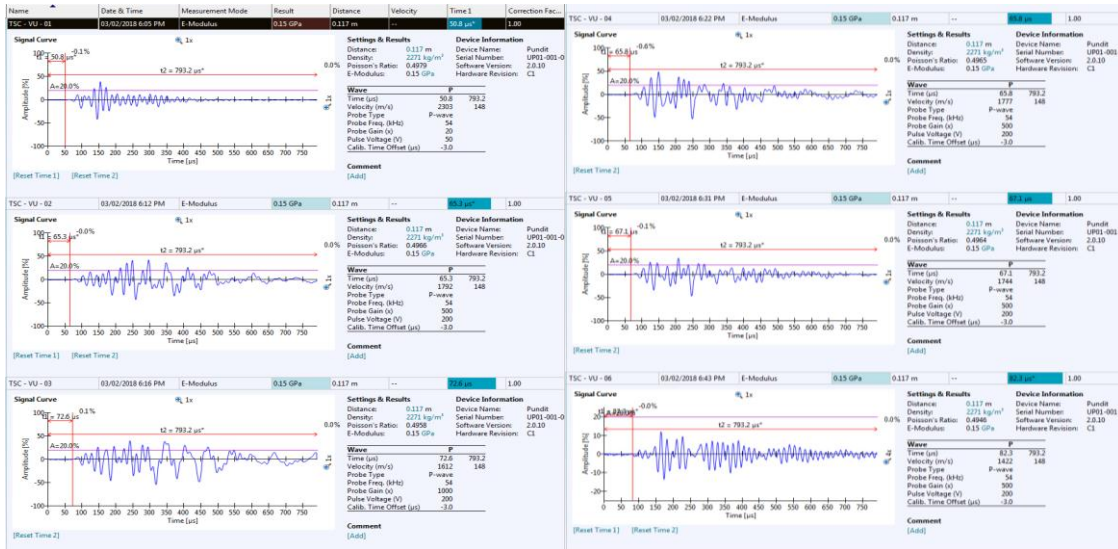


Figura 79 – Señales de onda visualizadas con el software PL-Link

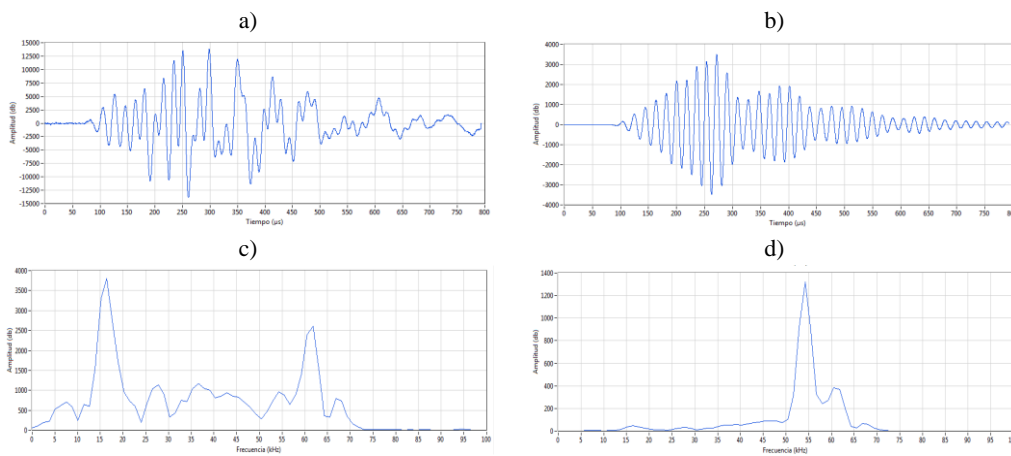
En el ensayo, se pudo observar que las señales de onda no son iguales para todos los testigos, presentando distorsiones y complicando la determinación del inicio de la onda. Esto, debido a la refracción de la onda al variar el medio en el que se transmite (agregado, material fino o aire). Respecto a la densidad, no presenta grandes variaciones, debido, a que todos los especímenes se compactaron en el mismo molde y bajo las mismas condiciones de compactación.

3.6.5.3. Procesamiento de la señal de onda

Exportadas las señales de onda, se procedió a realizar el procesamiento de estas, a fin, de determinar el tiempo de vuelo, siendo este el inicio de la onda o de la envolvente.

El procesamiento de las señales de onda se encuentra en el Anexo 20 (pág. 185).

La Figura 80 muestra el procesamiento que se realizó a la señal de onda del espécimen TSC – VU – 02.



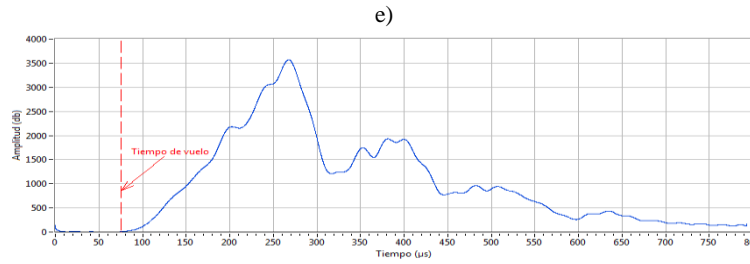


Figura 80 – Procesamiento de la señal de onda del espécimen TSC – VU – 02: a) señal de onda, b) señal de onda filtrada, c) espectro de la señal de onda, d) señal de onda filtrada y e) envolvente de la señal de onda filtrada y su tiempo de vuelo

La Tabla 83 muestra los tiempos de vuelo del pulso ultrasónico, resultantes del procesamiento de las señales de onda.

Tabla 83 – Tiempos de vuelo del pulso ultrasónico en testigos de suelo-cemento

Espécimen	Tiempo de vuelo (µs)
TSC - VU - 1	60
TSC - VU - 2	75
TSC - VU - 3	85
TSC - VU - 4	80
TSC - VU - 5	75
TSC - VU - 6	80
Promedio	75.83

Con la longitud entre los transductores “L”, 116.7 mm (ver Tabla 81, pág. 110), y el tiempo de vuelo “t” ,75.83 µs, determinamos la velocidad de onda longitudinal “ V_L ”:

$$V_L = \frac{L}{t} = \frac{116.7 * 10^{-3} \text{ m}}{75.83 * 10^{-6} \text{ seg}} = 1538.97 \text{ m/seg}$$

Debido a que se contó solo con transductores de onda longitudinal, se adoptó un coeficiente de Poisson “ ν ” de 0.25 para el suelo cemento, en base a lo sugerido por el IECA.

Luego, determinamos la velocidad de onda transversal “ V_T ” en función de “ V_L ” y “ ν ”, para ello, se utilizó la ecuación mostrada en la Tabla 17 (pág. 41), como se muestra a continuación:

$$\nu = \frac{2V_T^2 - V_L^2}{2V_T^2 + 2V_L^2} \text{ , despejando } V_T: V_T = \sqrt{\frac{V_L^2(2\nu - 1)}{2\nu + 2}}$$

Siendo el resultado:

$$V_T = \sqrt{\frac{(1538.97 \text{ m/seg})^2 * (2 * 0.25 - 1)}{2 * 0.25 + 2}} = 888.52 \text{ m/seg}$$

3.6.6. Diseño del pavimento

3.6.6.1. Determinación del módulo resiliente

El módulo resiliente de una subrasante con 6% de CBR “ $M_{r(sr)}$ ”, se determinó utilizando la ecuación (6) (pág. 21):

$$M_r = 2555 \text{ CBR}^{0.64} \text{ (psi)}$$

Siendo el resultado:

$$M_{r(sr)} = 2555 * 6^{0.64} = 8042.81 \text{ psi}$$

El módulo resiliente de una subbase conformada con el suelo natural “ $M_{r(sb)}$ ”, se determinó utilizando la misma ecuación y en función del valor de CBR promedio al 100% de la máxima densidad seca ,20.34% (ver Tabla 78, pág. 107):

$$M_{r(sb)} = 2555 * 20.34^{0.64} = 17\ 568.53 \text{ psi}$$

El módulo resiliente de una subbase conformada con el suelo cemento (3.83% de cemento) “ E_{sc} ”, se determinó en función de la densidad “ ρ ”, 2.271 gr/cm³ (ver Tabla 81, pág. 110), la velocidad de onda longitudinal “ V_L ”, 1538.97 m/s (pág. 112), y la velocidad de onda transversal “ V_T ”, 888.52 m/s (pág. 112), utilizando la ecuación mostrada en la Tabla 17 (pág. 41):

$$E = \frac{\rho V_T^2 (3V_L^2 - 4V_T^2)}{V_L^2 - V_T^2}$$
$$E_{sc} = \frac{\left(2.271 * 1000 \frac{kg}{m^3}\right) * \left(888.52 \frac{m}{s}\right)^2 * \left(3 * \left(1538.97 \frac{m}{s}\right)^2 - 4 * \left(888.52 \frac{m}{s}\right)^2\right)}{\left(1538.97 \frac{m}{s}\right)^2 - \left(888.52 \frac{m}{s}\right)^2}$$

$$E_{sc} = 4\ 482\ 243\ 935.50 \frac{kg}{m * s^2} = 4\ 482\ 243\ 935.50 \text{ Pa} = 4.482 \text{ GPa}$$

$$E_{sc} = 4\ 482\ 243\ 935.50 \text{ Pa} * 0.000145 = 649\ 925.37 \text{ psi}$$

El valor del módulo resiliente del suelo cemento es mucho mayor que el del suelo natural, debido a que el suelo cemento posee características parecidas a la de un concreto (estando por debajo de este), los cuales, están muy por encima de un suelo natural. Esto, se verifica con los valores de módulo resiliente reducidos (a comparación del suelo cemento) del suelo natural ,20.34% de CBR, y de una subrasante con 6% de CBR.

3.6.6.2. Módulo de reacción combinado

Los valores de módulo de reacción combinado “ k_c ”, se determinaron por medio del método AASHTO 93. Esto, para las subbases de suelo natural y de suelo cemento (3.83% de cemento), de 20 cm (8”) y 10 cm (4”) de espesor respectivamente, y sobre una subrasante de 6% de CBR.

Primeramente, se calculó el módulo de reacción compuesto “ k_{∞} ” y luego se ajustó por el potencial de pérdida de soporte “ LS ”, considerando valores medios de 0.5 para el suelo cemento y 2 para el suelo natural (ver Tabla 10, pág. 23). Para ello, se utilizaron las ecuaciones (8) y (10) (págs. 21 y 23):

$$\begin{aligned} \circ \ln k_{\infty} &= -2.807 + 0.1253(\ln D_{SB})^2 + 1.062(\ln M_R) + 0.1282(\ln D_{SB})(\ln E_{SB}) - \\ & 0.4114(\ln D_{SB}) - 0.0581(\ln E_{SB}) - 0.1317(\ln D_{SB})(\ln M_R) \\ \circ k_c &= 10^{(-0.16 LS + 1) \log(k_{\infty}) + (-0.054 LS - 0.015)} \end{aligned}$$

Donde:

D_{SB} : Espesor de la subbase (pulg)

M_R : Módulo resiliente de la subrasante (psi)

E_{SB} : Módulo resiliente de la subbase (psi)

Los cálculos para el suelo natural y suelo-cemento fueron los siguientes:

Subbase de suelo natural	Subbase de suelo cemento
$\ln k_{\infty}$	$\ln k_{\infty}$
$= -2.807 + 0.1253(\ln(8))^2$	$= -2.807 + 0.1253(\ln(4))^2$
$+ 1.062(\ln(8042.81))$	$+ 1.062(\ln(8042.81))$
$+ 0.1282(\ln(8))(\ln(17\ 568.53))$	$+ 0.1282(\ln(4))(\ln(649\ 925.37))$
$- 0.4114(\ln(8)) - 0.0581(\ln(17\ 568.53))$	$- 0.4114(\ln(4)) - 0.0581(\ln(649\ 925.37))$
$- 0.1317(\ln(8))(\ln(8042.81))$	$- 0.1317(\ln(4))(\ln(8042.81))$
$k_{\infty} = 405.20\ pci$	$k_{\infty} = 585.72\ pci$
$k_c = 10^{(-0.16*2+1) \log(406.54) + (-0.054*2-0.015)}$	$k_c = 10^{(-0.16*0.5+1) \log(585.72) + (-0.054*0.5-0.015)}$
$k_c = 44.69\ pci$	$k_c = 319.36\ pci$
$k_c = 44.69\ pci * 0.27137 = 12.13\ MPa/m$	$k_c = 319.36\ pci * 0.27137 = 86.66\ MPa/m$

El valor de módulo de reacción compuesto de la subbase de suelo cemento, sobre una subrasante de 6% CBR, es mayor que la de suelo natural a razón de 1.45:1 aproximadamente, debido, al elevado módulo resiliente del suelo cemento. Pero, al momento de ajustarlo por el factor de pérdida de soporte esta razón cambia a 7:1 aproximadamente, a consecuencia de que el factor de pérdida de soporte para el suelo cemento es menor que para el suelo natural (material granular).

3.6.6.3. Variables de diseño

Las variables de diseño que se utilizaron en los diseños de pavimento rígido son las siguientes:

- **Tránsito (W_{18})**

El tránsito para los diseños fue de 150,000 de ESALs a 7,500,000 de ESALs.

- **Desviación normal estándar (Z_r)**

Se utilizaron valores de desviación estándar normal recomendados por el MTC (2014), estos, están en función del tráfico, como se observa en la Tabla 84.

Tabla 84- Valores de desviación estándar normal (Z_r) utilizados en los diseños

Ejes equivalentes acumulados		Desviación estándar normal (Z_r)
> 150,000	≤ 300,000	-0.524
> 300,000	≤ 500,000	-0.674
> 500,000	≤ 750,000	-0.842
> 750,000	≤ 1'000,000	-0.842
> 1'000,000	≤ 1'500,000	-1.036
> 1'500,000	≤ 3'000,000	-1.036
> 3'000,000	≤ 5'000,000	-1.036
> 5'000,000	≤ 7'500,000	-1.282

Fuente: Elaboración Propia en base al MTC (2014)

- **Desviación estándar global (S_o)**

Utilizamos el valor de 0.35, el cual, es recomendado por el MTC (2014).

- **Índice de serviciabilidad final (p_t) y diferencial de serviciabilidad (ΔPSI)**

Los valores utilizados de índice de serviciabilidad final, p_t , y diferencial de serviciabilidad, ΔPSI , son los recomendados por el MTC (2014), estos, están en función del tráfico como se observa en la Tabla 85.

Tabla 85 – Valores de índice de serviciabilidad final (p_t) y diferencial de serviciabilidad (Δpsi) utilizados en los diseños

Ejes equivalentes acumulados		Índice de serviciabilidad inicial (p_0)	Índice de serviciabilidad final (p_t)	Diferencial de serviciabilidad (ΔPSI)
> 150,000	≤ 300,000	4.10	2.00	2.10
> 300,000	≤ 500,000	4.10	2.00	2.10
> 500,000	≤ 750,000	4.10	2.00	2.10
> 750,000	≤ 1'000,000	4.10	2.00	2.10
> 1'000,000	≤ 1'500,000	4.30	2.50	1.80
> 1'500,000	≤ 3'000,000	4.30	2.50	1.80
> 3'000,000	≤ 5'000,000	4.30	2.50	1.80
> 5'000,000	≤ 7'500,000	4.30	2.50	1.80

Fuente: Elaboración Propia en base al MTC (2014)

- **Módulo de ruptura ($S'c$)**

El módulo de ruptura se determinó mediante la ecuación (2) (pág. 16), la cual, está en función de la resistencia a compresión de la losa de diseño (210 kg/cm²):

$$S'c = a\sqrt{f'c}$$

Según el MTC (2014), “a” varía entre 1.99 y 3.18 para valores en kg/cm².

Para el cálculo se utilizó el promedio de los valores de “a” (2.585), como se muestra a continuación:

$$S'c = 2.585\sqrt{210} = 37.46 \text{ kg/cm}^2$$

$$S'c = 37.46 \text{ kg/cm}^2 * 0.098 = 3.67 \text{ MPa}$$

- **Módulo de elasticidad del concreto (Ec)**

El módulo de elasticidad se determinó mediante la ecuación (4), la cual, está en función de la resistencia a compresión de la losa de diseño (210 kg/cm²):

$$Ec = 15100\sqrt{f'c}$$

$$Ec = 15\ 100\sqrt{210} = 218\ 819.79 \text{ kg/cm}^2$$

$$Ec = 218\ 819.79 \text{ kg/cm}^2 * 0.098 = 21\ 444.34 \text{ MPa}$$

- **Coefficiente de transferencia de cargas (J)**

Considerando que el pavimento será de concreto simple con juntas, no estará unido a bermas y presentará dispositivos de transferencia de carga el coeficiente de transferencia de carga, J, es de 3.2 (ver Tabla 7, pág. 17).

- **Coefficiente de drenaje (Cd)**

Para estimar el porcentaje del tiempo en que el pavimento está expuesto a niveles de humedad próximos a la saturación, se determinaron los meses lluviosos y los de traslape entre época lluviosa y seca, en base, a datos históricos de precipitación de la Estación: Granja Kcayra (San Jerónimo, Cusco, Cusco), proporcionados por el SENAMHI.

De la Figura 81, se determinó que los meses lluviosos son los meses de Enero, Febrero y Diciembre y los meses de traslape entre época lluviosa y seca son Marzo, Abril, Octubre y Noviembre. De este modo, el porcentaje del tiempo en que el pavimento está expuesto a niveles de humedad próximos a la saturación es mayor a 25%.

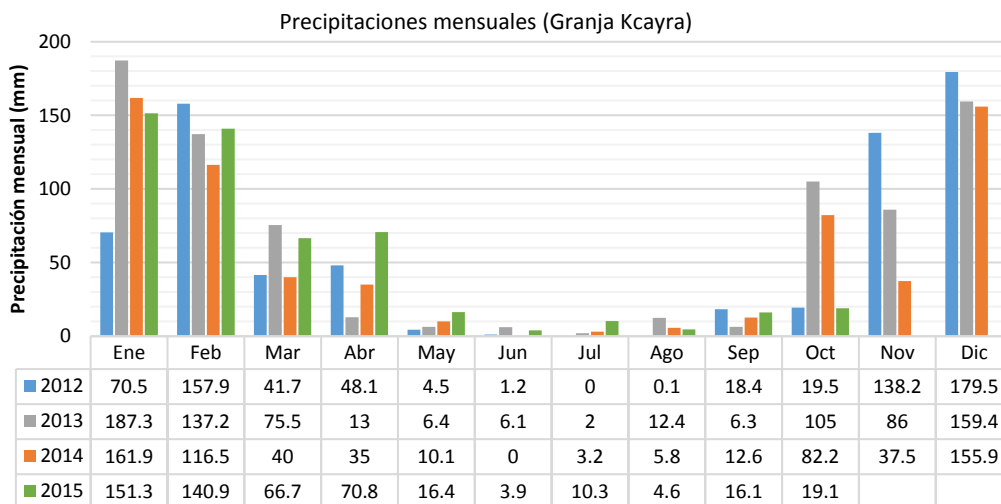


Figura 81 – Precipitaciones mensuales basadas en datos históricos de la estación: Granja Kcayra

Considerando una calidad de drenaje regular (véase Tabla 6) y que el porcentaje del tiempo en que el pavimento está expuesto a niveles de humedad próximos a la saturación es mayor a 25% el Coeficiente de Drenaje, C_d , es de 0.90 (véase Tabla 7).

Los valores de las variables p_t , ΔPSI y Z_r recomendados por el MTC varían en función del tráfico, siendo cada vez más conservadores a medida que incrementa el tráfico y, por ende, requiriendo mayores espesores de losa.

3.6.6.4. Diseño

El diseño se realizó siguiendo la metodología presentada en el Manual “AASHTO Guide for Design of Pavement Structures” (1993), el cual presenta una ecuación para determinar el espesor de losa que requiere un determinado tráfico, con las variables de diseño antes mencionadas (pág. 13). Sin embargo, el MTC en su Manual de Carreteras - Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos – Sección: Suelos y Pavimentos (2014) presenta la misma ecuación en unidades métricas (ecuación (1), pág. 12).

$$\begin{aligned} \log_{10} W_{8.2} = & Z_R S_o + 7.35 \log_{10}(D + 25.4) - 10.39 + \frac{\log_{10} \left(\frac{\Delta PSI}{4.5 - 1.5} \right)}{1 + \frac{1.25 * 10^{19}}{(D + 25.4)^{8.46}}} \\ & + (4.22 - 0.32 p_t) * \log_{10} \left[\frac{S'_c C_d (0.09 D^{0.75} - 1.132)}{1.51 * J \left[0.09 D^{0.75} - \frac{7.38}{(E_c/k_c)^{0.25}} \right]} \right] \end{aligned}$$

El espesor de losa para un determinado tráfico se determinó mediante tanteos del espesor de losa, hasta que la ecuación llegue al equilibrio.

El análisis de sensibilidad se realizó a través de 1472 diseños (736 para subbase de suelo cemento y 736 para subbase de suelo natural) para tráficos de 150,000 de ESALs a 7,500,000 de ESALs. Estos, se encuentran en el Anexo 21 (pág. 191).

Del análisis de sensibilidad, se calculó la diferencia de espesor de losa que requiere cada tráfico de diseño, entre un pavimento con subbase de suelo natural y uno con subbase de suelo cemento, así como, la reducción en el espesor de losa que esta significa, respecto a la necesaria con subbase de suelo natural. La Tabla 86 muestra un resumen de los resultados del cálculo.

Los resultados del análisis de sensibilidad se muestran en las Figuras 82 y 83, en las cuales, se observan graficas del espesor de losa en función del tráfico y viceversa.

Tabla 86 - Resumen de espesores de losa requeridos según el tráfico, para subbase de suelo natural y de suelo cemento

Tráfico (ESALs)	Espesor de losa para suelo natural (cm)	Espesor de losa para suelo cemento (cm)	Diferencia (cm)	Reducción (%)
150,000	14.46	10.56	3.91	27.00%
180,000	14.94	11.20	3.74	25.01%
220,000	15.48	11.87	3.61	23.34%
260,000	15.94	12.42	3.53	22.11%
300,000	16.35	12.89	3.46	21.14%
350,000	17.14	13.81	3.33	19.43%
400,000	17.54	14.27	3.27	18.64%
450,000	17.89	14.68	3.22	17.97%
500,000	18.21	15.05	3.17	17.39%
600,000	19.20	16.18	3.03	15.76%
700,000	19.69	16.73	2.96	15.03%
800,000	20.12	17.21	2.91	14.44%
900,000	20.50	17.65	2.85	13.90%
1,000,000	20.85	18.04	2.81	13.49%
1,250,000	22.42	19.84	2.58	11.50%
1,500,000	23.07	20.53	2.54	10.99%
1,750,000	23.63	21.13	2.50	10.58%
2,000,000	24.12	21.64	2.47	10.25%
2,250,000	24.55	22.10	2.45	9.98%
2,500,000	24.95	22.52	2.43	9.74%
3,000,000	25.66	23.25	2.40	9.37%
3,500,000	26.26	23.88	2.38	9.08%
4,000,000	26.80	24.43	2.37	8.84%
4,500,000	27.27	24.92	2.36	8.64%
5,000,000	27.71	25.36	2.34	8.46%
6,000,000	29.33	27.01	2.32	7.91%
7,500,000	30.32	28.01	2.30	7.60%

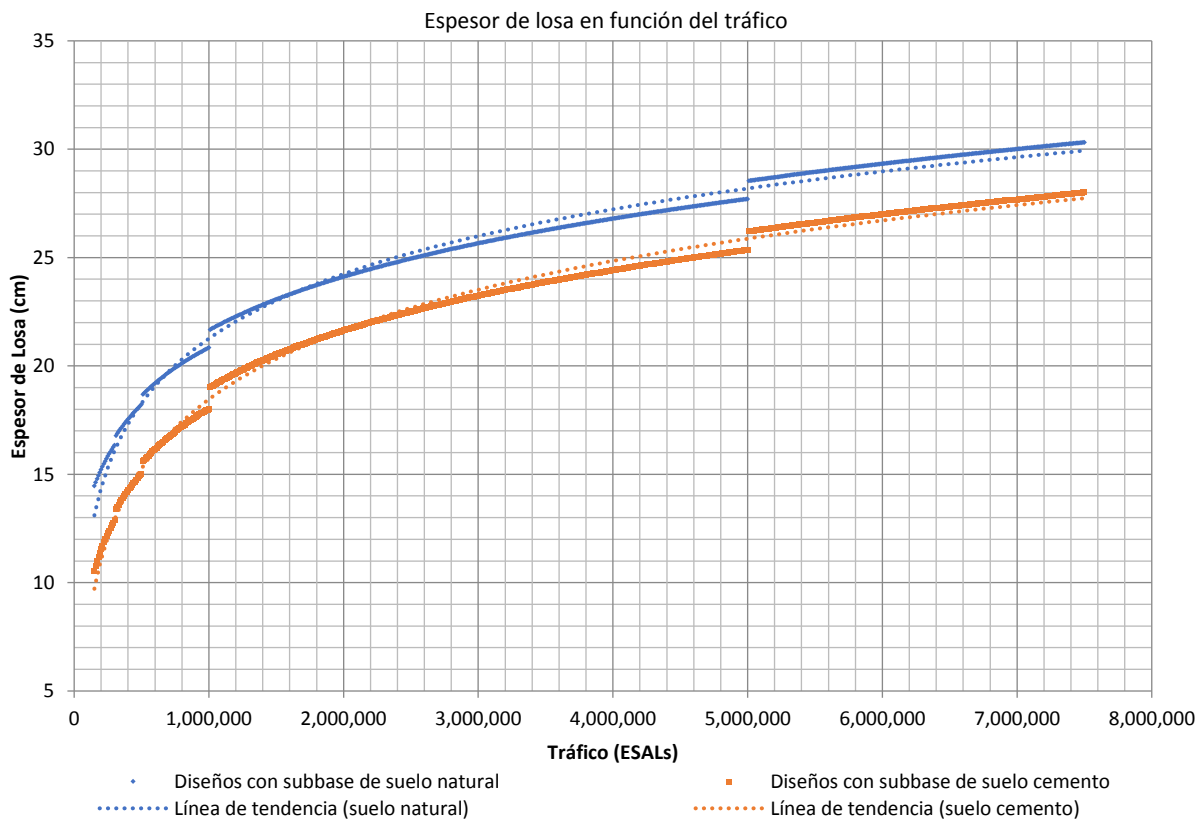


Figura 82 – Espesores de losa en función del tráfico resultantes del análisis de sensibilidad

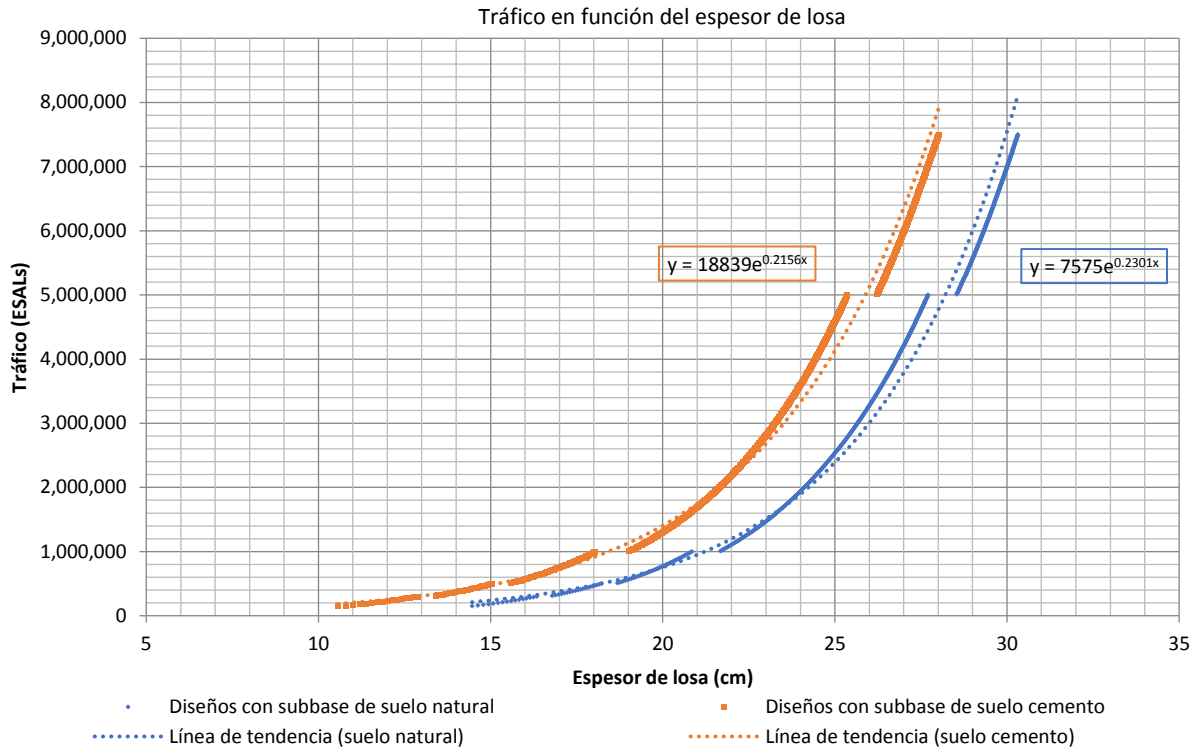


Figura 83 - Tráficos en función del espesor de losa resultantes del análisis de sensibilidad

Con las ecuaciones de las líneas de tendencia de la Figura 83, se calculó el tráfico que puede soportar un pavimento con subbase de suelo natural y con subbase de suelo cemento, variando el espesor de losa. La Tabla 87 muestra los resultados del cálculo y la relación del tráfico que puede soportar un pavimento con subbase de suelo cemento respecto a la de uno con subbase de suelo natural.

Tabla 87 – Tráfico que puede soportar un pavimento con subbase de suelo natural y con subbase de cemento, variando el espesor de losa

Esesor de losa (cm)	Tráfico SC (ESALs)	Tráfico SN (ESALs)	Relación (SC/SN)
10	162,703	75,630	2.15
11	201,851	95,197	2.12
12	250,417	119,828	2.09
13	310,669	150,830	2.06
14	385,418	189,854	2.03
15	478,152	238,974	2.00
16	593,199	300,802	1.97
17	735,926	378,628	1.94
18	912,994	476,588	1.92
19	1,132,666	599,894	1.89
20	1,405,192	755,102	1.86
21	1,743,290	950,467	1.83
22	2,162,736	1,196,377	1.81
23	2,683,103	1,505,911	1.78
24	3,328,674	1,895,529	1.76
25	4,129,573	2,385,952	1.73
26	5,123,173	3,003,259	1.71
27	6,355,839	3,780,280	1.68
28	7,885,092	4,758,336	1.66
29	9,782,293	5,989,441	1.63
30	12,135,972	7,539,064	1.61



Del análisis de sensibilidad, se observó que un pavimento con subbase de suelo natural requiere un mayor espesor de losa que uno con subbase de suelo cemento para soportar un mismo tráfico. Además, que el tráfico soportado por un pavimento con subbase de suelo cemento (para un mismo espesor de losa), es de 2.15 a 1.61 veces el del suelo natural para espesores de losa de 10 cm a 30 cm respectivamente, esta relación disminuye a medida que el espesor de losa incrementa.

Capítulo IV: Resultados

A continuación, se presentan los resultados de la investigación. El concepto en que estos se listaron busca seguir el orden cronológico con que se realizaron trabajos experimentales y de gabinete.

4.1. Clasificación del suelo

De los ensayos de caracterización del suelo, se obtuvo la granulometría del suelo y la clasificación del material fino del suelo en la carta de plasticidad, tal como se muestra en las Figura 84 y 85.

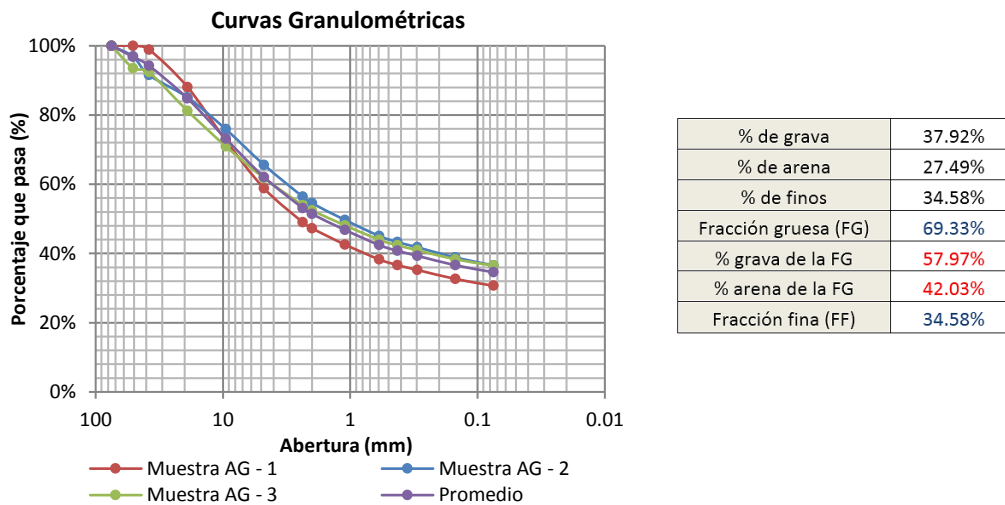


Figura 84 – Resultados del ensayo de análisis granulométrico utilizados en la clasificación del suelo

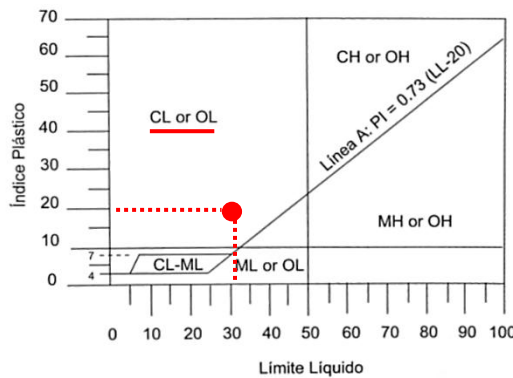


Figura 85 – Resultados de los ensayos de límite líquido y límite plástico utilizados en la clasificación del suelo

De los resultados, se puede observar que el suelo de la cantera de Quillahuata clasifica como una grava arcillosa con arena y un A-2-6 (2) según la clasificación SUCS y AASHTO respectivamente (véase las Tablas 55 y 56, págs. 87 y 88).

Esta clasificación, se debe a la plasticidad del material fino (el 34.58% del total) del suelo y que presenta más grava (> tamiz N°4) que arena (< tamiz N°4 y > tamiz N°200), en porcentajes de 37.92% y 27.49% respectivamente.

4.2. Ensayos de compactación

De los ensayos de compactación, Proctor Modificado y Relación Humedad-Densidad (Suelo Cemento), se obtuvieron las curvas de compactación del suelo natural y del suelo adicionado con 2%, 4% y 6% de cemento, tal como se muestra en la Figura 86.

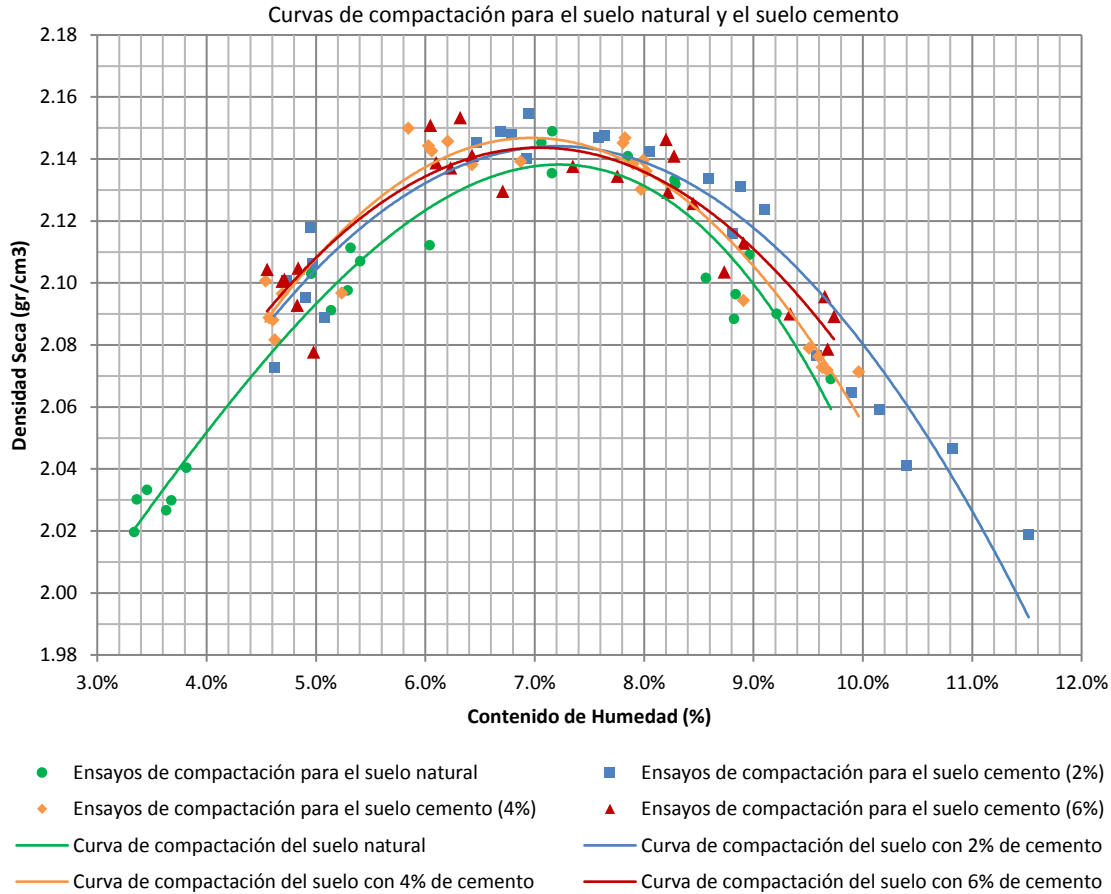


Figura 86 – Curvas de compactación del suelo natural y del adicionado con 2%, 4% y 6% de cemento

Con estas curvas, se determinaron las máximas densidades secas que pueden alcanzar para sus contenidos de humedad óptimos. La Tabla 88 muestra los resultados promedios para cada tipo de suelo.

Tabla 88 – Resultados de los ensayos de compactación para el suelo natural y el adicionado con cemento

Tipo de suelo	Máxima densidad seca promedio (gr/cm ³)	Contenido de humedad óptimo promedio
Suelo natural	2.143	7.21%
Suelo adicionado con 2% de cemento	2.150	7.17%
Suelo adicionado con 4% de cemento	2.150	6.99%
Suelo adicionado con 6% de cemento	2.147	7.03%

Estos resultados presentan mínimas diferencias, indicando que, a reducidas adiciones de cemento, la densidad seca y su contenido de humedad óptimo, no varían significativamente. Por ende, la influencia del contenido de cemento no es de gran relevancia en la densidad de compactación, esto, para suelos tratados con bajos contenidos de cemento.

4.3. Resistencia a compresión

Los resultados de resistencia a compresión obtenidos, a 7 días de curado húmedo, en testigos de suelo cemento elaborados con 2%,4% y 6% de cemento se muestran en la Tabla 89 y en la Figura 87.

Tabla 89 – Resultados de resistencia a la compresión de testigos de suelo cemento con 2%, 4% y 6% de cemento (a 7 días de curado húmedo).

Espécimen	Resist. Compresión (kg/cm2)	Espécimen	Resist. Compresión (kg/cm2)	Espécimen	Resist. Compresión (kg/cm2)
TSC - 2 - 1	12.0	TSC - 4 - 1	23.5	TSC - 6 - 1	34.3
TSC - 2 - 2	11.1	TSC - 4 - 2	20.4	TSC - 6 - 2	33.9
TSC - 2 - 3	10.9	TSC - 4 - 3	22.8	TSC - 6 - 3	32.6
TSC - 2 - 4	11.0	TSC - 4 - 4	22.3	TSC - 6 - 4	33.6
TSC - 2 - 5	12.3	TSC - 4 - 5	22.1	TSC - 6 - 5	34.2
TSC - 2 - 6	12.9	TSC - 4 - 6	20.9	TSC - 6 - 6	34.8
Promedio	11.7	Promedio	22.0	Promedio	33.9

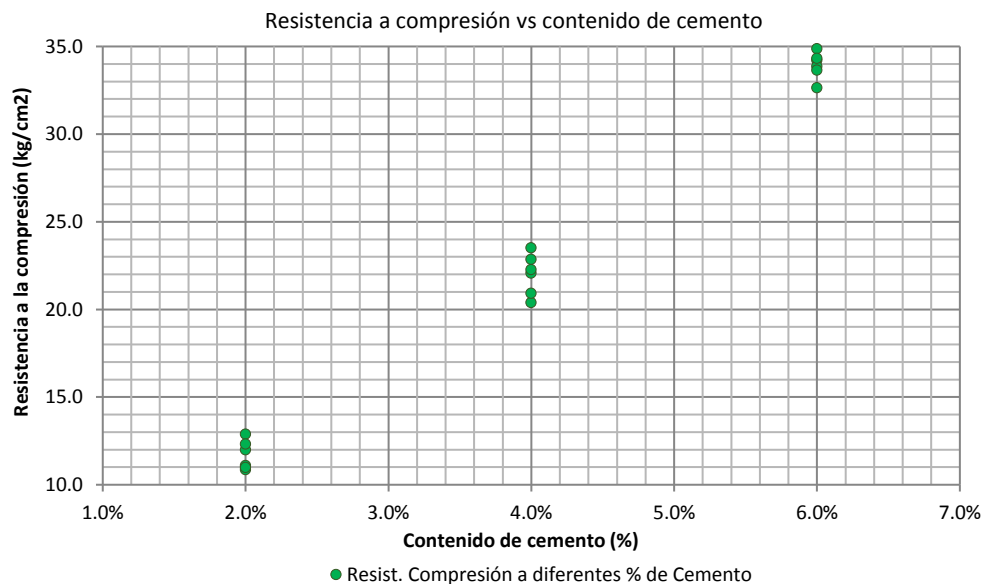


Figura 87 – Gráfica de resultados de resistencia a la compresión en función del contenido de cemento de testigos de suelo cemento con 2%, 4% y 6% (a 7 días de curado húmedo).

Estos resultados, muestran que para pequeñas variaciones del contenido de cemento (a razón de 2%) en el tratamiento de un suelo, la resistencia a compresión se ve incrementada significativamente, tal como se ve en la Figura 87. Para el suelo de la cantera de Quillahuata se ve un incremento de +11 kg /cm², aproximadamente, para cada incremento de 2% en el contenido de cemento y una resistencia de 11.7 kg/cm² para un tratamiento con 2% de cemento.

4.4. Mínima cantidad de cemento

En la Figura 88 se muestra la mínima cantidad de cemento necesaria para alcanzar una resistencia de 21.6 kg/cm², 20% más de la mínima requerida en la EG – 2013 (18 kg/cm²), el cual resulta en 3.83%.

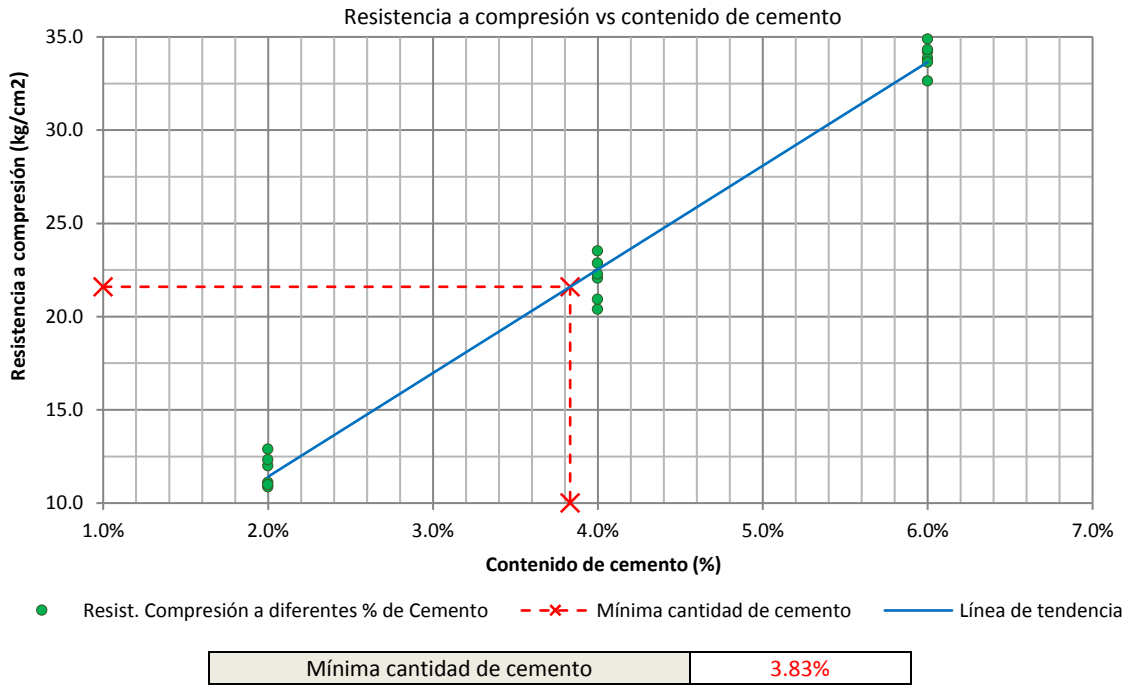


Figura 88 – Resultado de la mínima cantidad de cemento necesaria para alcanzar la mínima resistencia requerida por la EG – 2013 (18 kg/cm²) excedida en 20% (21 kg/cm²)

Los resultados del análisis de sensibilidad por humedad y densidad de compactación del suelo tratado con 3.83% de cemento se observan las Figuras 89 y 90.

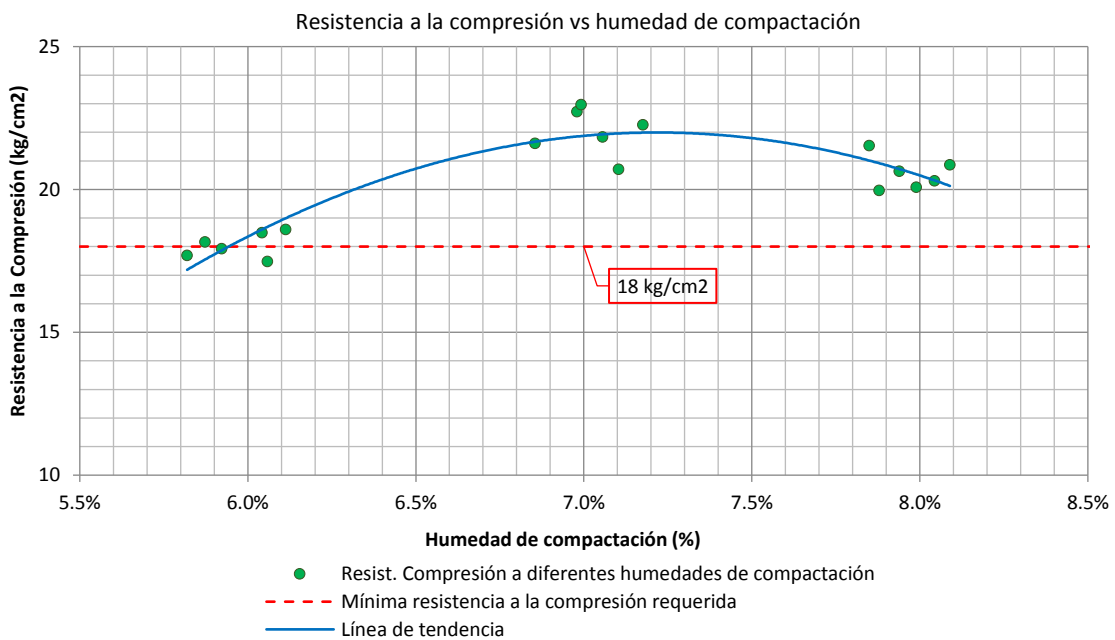


Figura 89 – Resultado del análisis de sensibilidad por humedad de compactación

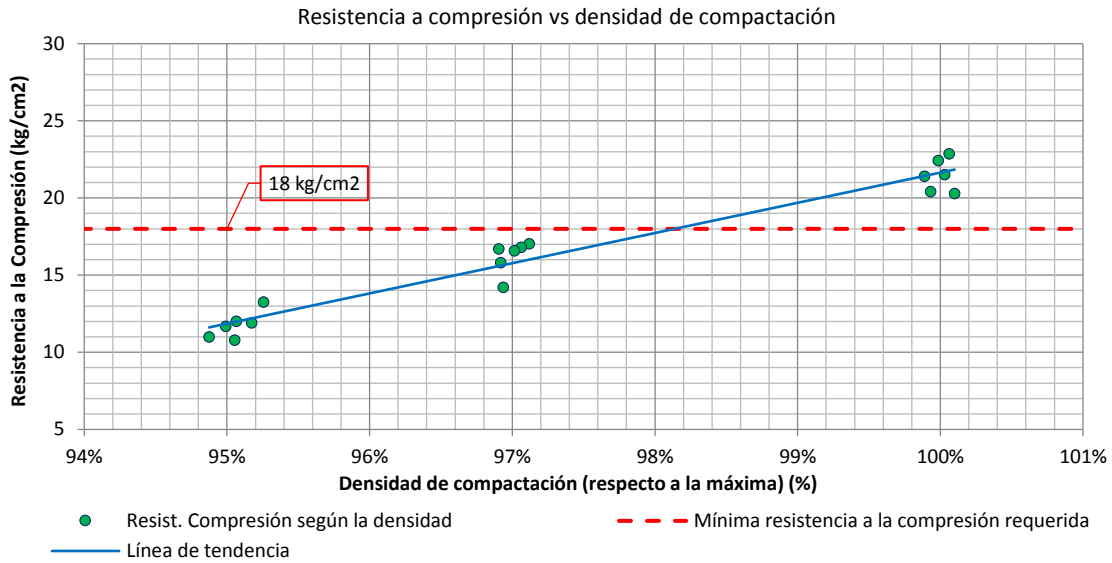


Figura 90 – Resultado del análisis de sensibilidad por densidad de compactación

Este análisis de sensibilidad muestra que para variaciones en $\pm 1\%$ al contenido de humedad óptimo la resistencia promedio alcanzada está por encima de la requerida por las EG – 2013 (18 kg/cm^2), y que para variaciones al 95%, 97% y 100% de la máxima densidad seca la resistencia estaría por encima de la requerida, siempre que se alcance como mínimo una densidad del 98.2% de la máxima, cumpliendo para un diseño al 100% de la máxima densidad seca.

4.5. CBR

Los resultados de los ensayos de CBR en suelo natural y suelo tratado con 3.83% de cemento, a 7 días de curado húmedo y 4 días de inmersión, se muestran en la Figura 91.

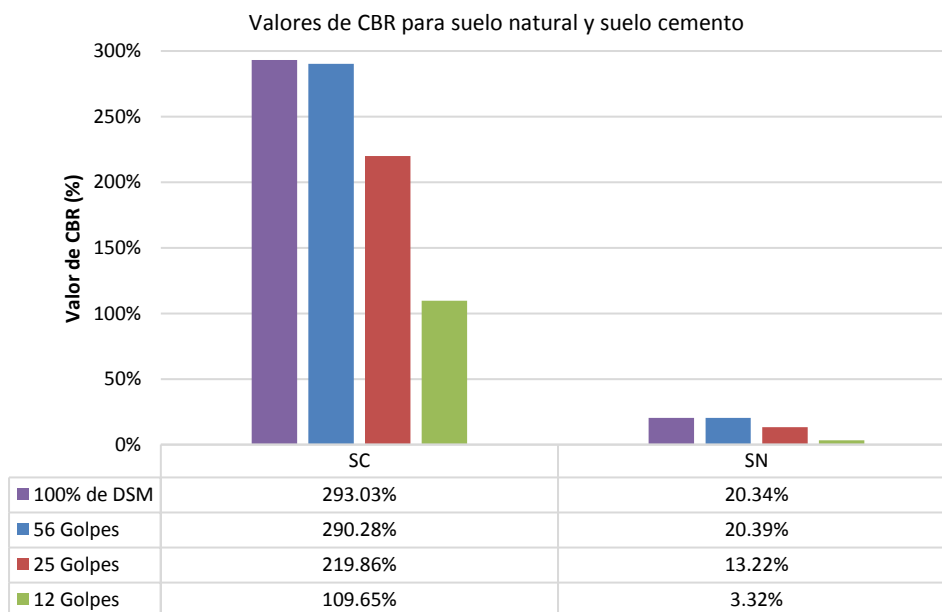


Figura 91 – Resultados de valores de CBR promedio para muestras de suelo natural y suelo cemento

Estos resultados muestran un incremento de más de 250% en el valor de CBR (al 100% de la máxima densidad seca) del suelo tratado con 3.83% de cemento respecto al del suelo natural. Esto, da a entender que tratar un suelo con cemento, brindando un adecuado curado, incrementa notablemente su CBR, como es para el caso del suelo de la cantera de Quillahuata.

4.6. Velocidad de propagación de onda

Los tiempos de vuelo resultantes del ensayo de velocidad de pulso ultrasónico, se observan en la Figura 92 y en la Tabla 90.

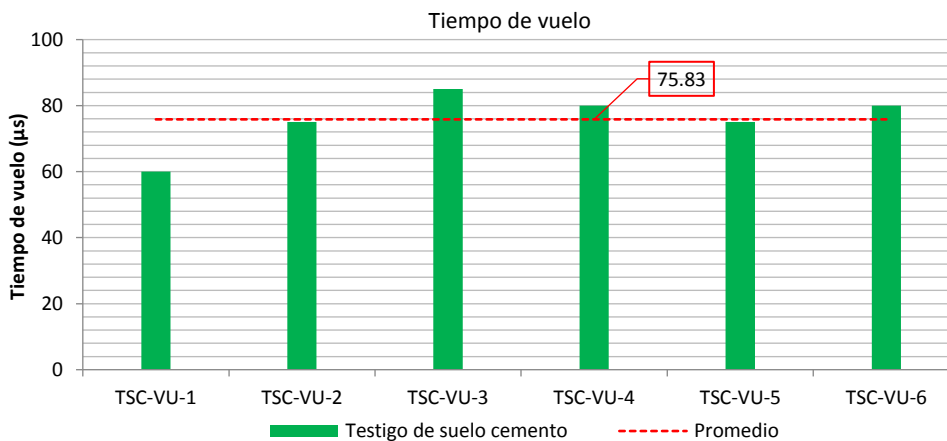


Figura 92 – Resultado de tiempos de vuelo de onda de ultrasonido en testigos de suelo cemento

Tabla 90 - Resultado de tiempos de vuelo de onda de ultrasonido en testigos de suelo cemento

Especimen	Tiempo de vuelo (μs)
TSC - VU - 1	60
TSC - VU - 2	75
TSC - VU - 3	85
TSC - VU - 4	80
TSC - VU - 5	75
TSC - VU - 6	80
Promedio	75.83

La Tabla 91 muestra las velocidades de propagación de onda, longitudinal y transversal, en testigos de suelo cemento diseñados para una resistencia a compresión de 18 kg/cm².

Tabla 91 – Resultado de velocidad de propagación de onda longitudinal y transversal

Velocidad de onda longitudinal (m/s)	1538.97
Velocidad de onda transversal (m/s)	888.52

La Figura 92 muestra que los tiempos de vuelo resultantes de la propagación de ondas ultrasónicas presentan diferencias, no obstante, la velocidad de propagación de onda longitudinal calculada con el promedio de estas está dentro del rango típico de velocidades de propagación de onda longitudinal en un concreto muy pobre (ver Tabla 15, pág. 36), debido a la baja resistencia a compresión (en comparación con los de un concreto normal) de los testigos de suelo cemento.

4.7. Módulo resiliente

Los valores de módulo resiliente del suelo natural con 20.34% de CBR y del tratado con cemento para alcanzar una resistencia de 18 kg/cm² se muestran en la Tabla 92.

Tabla 92 – Resultados de módulo resiliente para el suelo natural y el tratado con cemento (3.83% de cemento)

Tipo de suelo	Suelo natural	Suelo cemento
Módulo resiliente (psi)	17 568.53	649 925.37

Como se observa en la Tabla 92 el módulo resiliente del suelo tratado con cemento incrementa en 630,000 psi aproximadamente, muy por encima al del suelo natural. Esto muestra el considerable mejoramiento de las propiedades del suelo, colocándolo muy por encima de un suelo natural.

4.8. Módulo de reacción combinado

Los resultados de módulo de reacción combinado para subbases de suelo natural de 20.34% de CBR y de suelo tratado con cemento, diseñado para alcanzar una resistencia de 18 kg/cm², de 20 cm y 10 cm de espesor respectivamente, y sobre una subrasante de 6% de CBR se muestran en la Tabla 93.

Tabla 93 – Resultados de módulo de reacción combinado del suelo natural y del tratado con cemento (3.83% de cemento)

Tipo de suelo	Suelo natural	Suelo cemento
Módulo de reacción combinado (MPa/m)	12.13	86.66

Los resultados de la Tabla 93 muestran que el módulo de reacción combinado del suelo tratado con cemento es 7 veces mayor, aproximadamente, que el del suelo natural, debido al elevado módulo resiliente del suelo tratado con cemento y que presenta una menor pérdida de soporte.

4.9. Espesor de losa en función del tráfico

Los resultados del análisis de sensibilidad de los diseños de espesores de losa en función del tráfico, de 150,000 de ESALs a 7,500,000 de ESALs, y con subbase de suelo natural y subbase tratada con cemento ,3.83% de cemento, se muestran en la Tabla 94 y en las Figuras 93, 94 y 95.

Tabla 94 –Resumen de resultados de los diseños de espesores de losa requeridos en función del tráfico

Tráfico (ESALs)	Espesor de losa para suelo natural (cm)	Espesor de losa para suelo cemento (cm)	Diferencia (cm)	Reducción (%)
150,000	14.46	10.56	3.91	27.00%
180,000	14.94	11.20	3.74	25.01%
220,000	15.48	11.87	3.61	23.34%
260,000	15.94	12.42	3.53	22.11%
300,000	16.35	12.89	3.46	21.14%
350,000	17.14	13.81	3.33	19.43%
400,000	17.54	14.27	3.27	18.64%
450,000	17.89	14.68	3.22	17.97%
500,000	18.21	15.05	3.17	17.39%
600,000	19.20	16.18	3.03	15.76%
700,000	19.69	16.73	2.96	15.03%
800,000	20.12	17.21	2.91	14.44%
900,000	20.50	17.65	2.85	13.90%
1,000,000	20.85	18.04	2.81	13.49%
1,250,000	22.42	19.84	2.58	11.50%
1,500,000	23.07	20.53	2.54	10.99%
1,750,000	23.63	21.13	2.50	10.58%
2,000,000	24.12	21.64	2.47	10.25%
2,250,000	24.55	22.10	2.45	9.98%
2,500,000	24.95	22.52	2.43	9.74%
3,000,000	25.66	23.25	2.40	9.37%
3,500,000	26.26	23.88	2.38	9.08%
4,000,000	26.80	24.43	2.37	8.84%
4,500,000	27.27	24.92	2.36	8.64%
5,000,000	27.71	25.36	2.34	8.46%
6,000,000	29.33	27.01	2.32	7.91%
7,500,000	30.32	28.01	2.30	7.60%

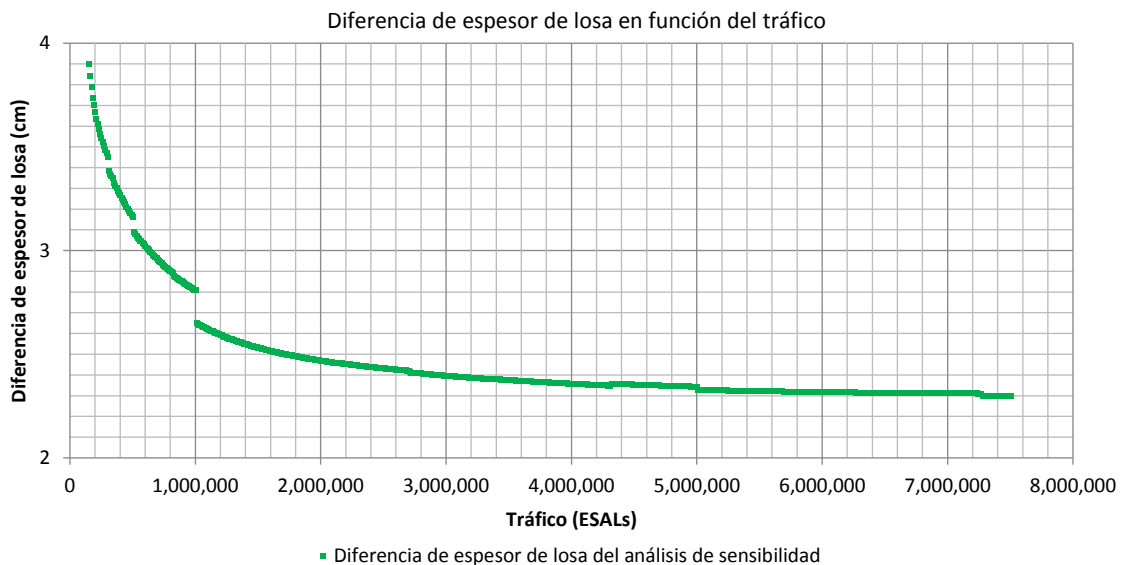


Figura 93 – Diferencias de espesor de losa en función del tráfico, resultantes del análisis de sensibilidad

En los resultados se observa que el espesor de losa necesario para una subbase de suelo natural es mayor que la de una subbase tratada con cemento, esta diferencia de espesores varía de 3.90 cm a 2.30 cm para tráficos de 150,000 de ESALs a 7,500,000 de ESALs, disminuyendo a medida que incrementa el tráfico. Así mismo, estas diferencias representan una reducción en el espesor de losa, la cual, varía de 27% a 7.6% para tales tráficos.

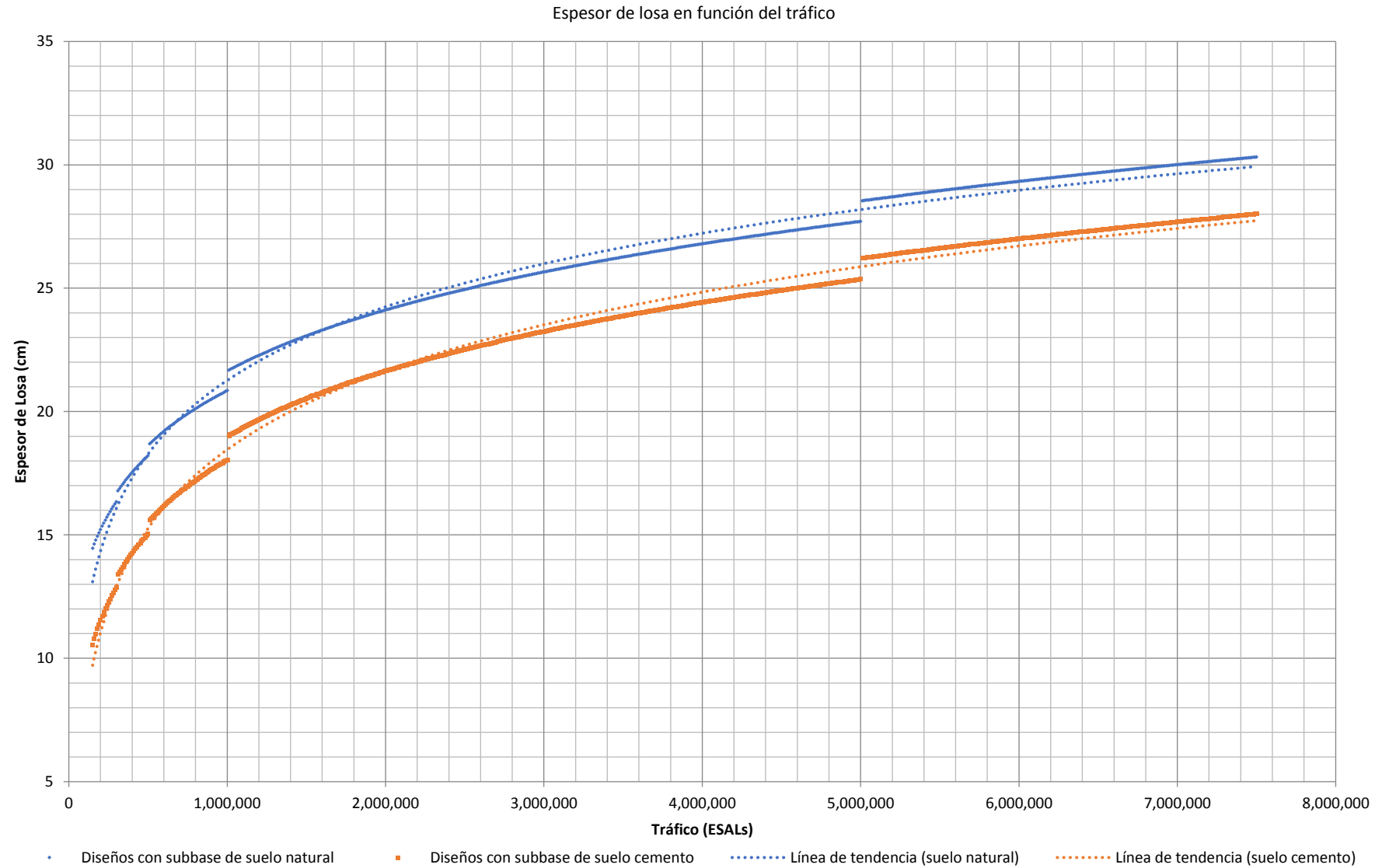


Figura 94 – Gráfica de espesor de losa en función del tráfico

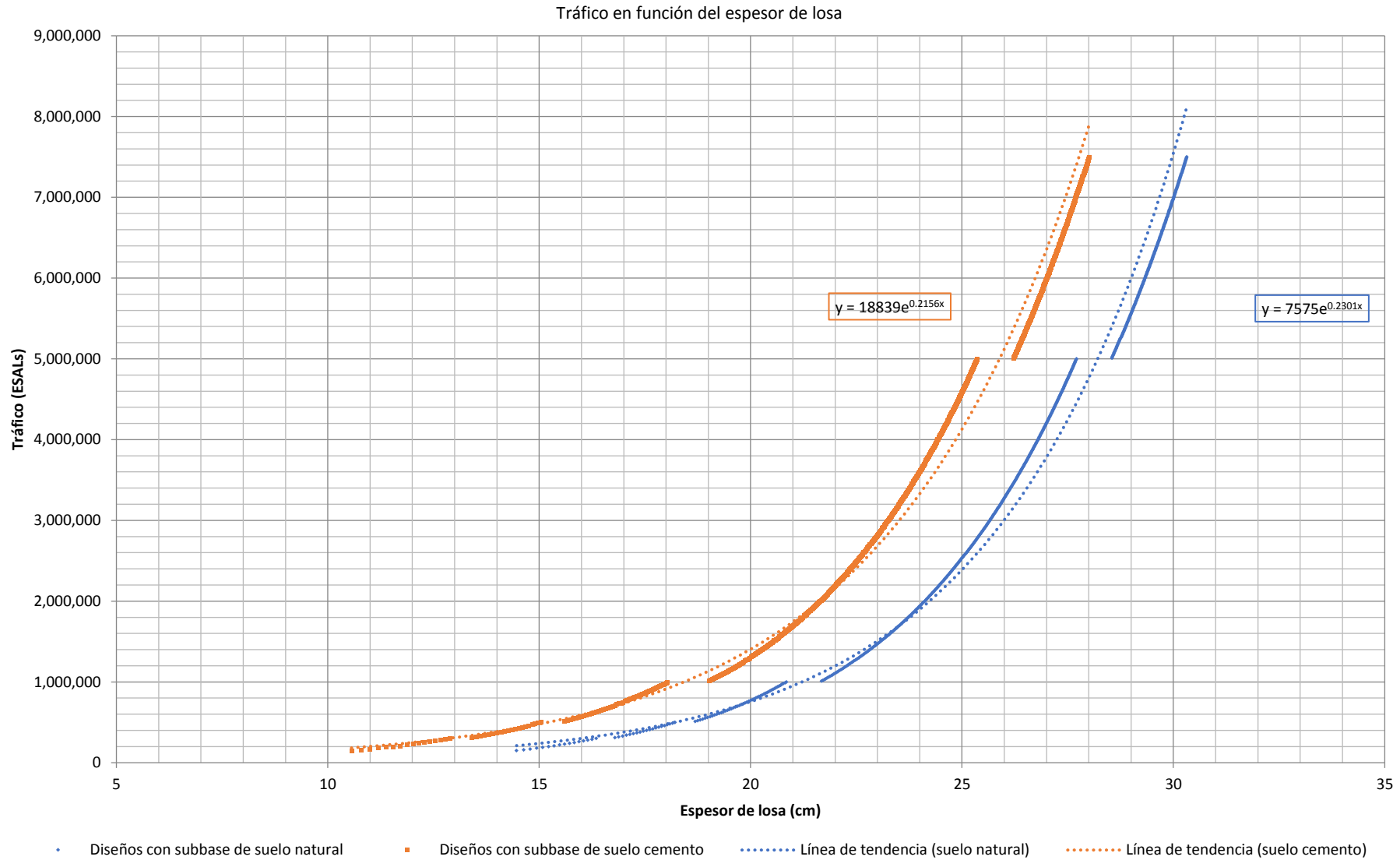


Figura 95 – Gráfica de tráfico en función del espesor de losa



Capítulo V: Discusión

5.1. Principales hallazgos a partir de los resultados obtenidos

- En los resultados de los ensayos se pudo observar que los valores de máxima densidad seca y contenido de humedad óptimo de los suelos estudiados, natural y adicionado con 2%, 4% y 6%, presentan mínimas variaciones (ver Tabla 87, pág. 122), debido a que el suelo está compuesto por un alto contenido de finos (34.58%) y la adición de cemento en pequeñas cantidades no es significativo al momento de la compactación. También cabe mencionar que el suelo de la cantera de Quillahuata presenta una buena gradación, lo cual reduce aún más la poca influencia del cemento durante la compactación.
- La dispersión de los resultados de resistencia a compresión se debe a que, durante la elaboración de los especímenes, no se pudo controlar rigurosamente la distribución de las partículas del suelo en el proceso de la compactación, a pesar de que los valores de humedad y densidad seca son muy parecidos. Esto provoca que algunos especímenes presenten mayor cohesión y fricción entre agregados que otros, por ende, mayores valores de resistencia a la compresión (ver Figuras 87, 89 y 90, págs. 123-125).
- A consecuencia de que los especímenes de suelo cemento se compactaron con energía modificada ($56\ 000\ \text{lb}/\text{pie}^3$), la interfase árido-pasta hidratada de cemento es mayor y la cantidad de espacios vacíos presentes en el espécimen es poca; esto provee al espécimen de mayor cohesión entre sus partículas y por ende mayor resistencia. Lo cual, se ve reflejado en que para pequeñas adiciones de cemento se obtiene altos valores de resistencia a compresión (en comparación a suelos naturales), a razón de $11\ \text{kg}/\text{cm}^2$ aproximadamente para cada 2% de cemento adicionado (ver Tabla 88, pág. 123).
- Los elevados valores de CBR del suelo cemento verifican la ganancia de resistencia en el tiempo que presenta un material tratado con cemento, similar a un concreto. En la investigación los especímenes contaron con 11 días para adquirir resistencia, 7 días de curado húmedo y 4 días de inmersión en agua. Por consecuencia, el valor de CBR a al 100% de la máxima densidad seca es de 293.03% y para un espécimen compactado con 12 golpes por capa es de 109.65% (ver Figura 91, pág. 125).
- De igual forma que con el CBR, los valores de módulo resiliente y de módulo de reacción combinado del suelo tratado, con 3.83% cemento, son muy superiores a los del suelo natural, a razón de 37:1 y 7:1 respectivamente (ver Tablas 91 y 92, pág. 127). Esto, verifica que las características del suelo tratado con cemento son muy superiores a las de un suelo natural.



- En los diseños de pavimento rígido, se observa que la diferencia de espesor de losa en función del tráfico muestra mayores diferencias para tráficos ligeros (ver Tabla 93, pág. 128). Esto indica que la influencia, en el diseño, de las capas de apoyo (subrasante y subbase) es menor a medida que el tráfico incrementa.
- En los diseños de pavimento rígido, también se observó que, para un mismo espesor de losa y distintos tipos de subbase, suelo natural y tratada con cemento, el tráfico que puede soportar un pavimento con subbase tratada con cemento, es de 2.15 a 1.61 veces el que puede soportar uno con subbase de suelo natural (ver Tabla 86, pág. 119). Esto a consecuencia que la subbase tratada con cemento presenta un comportamiento similar al de una losa.

5.2. Limitantes y dificultades de la investigación

- El material de la cantera de Quillahuata ha sido seleccionado para la investigación, porque, anteriormente ha sido utilizado en el conformado de bases y subbases de infraestructuras viales, como es en el caso del proyecto “Construcción y mejoramiento de la Vía Expresa – Sector San Sebastián” (Gobierno Regional Cusco - Presidencia Regional, 2012). Esto, con la finalidad de poder evaluar la mejora de la resistencia del suelo al ser tratado con cemento, y, su influencia en el diseño de pavimentos rígidos.
- Los espesores de subbase de 20 cm para suelo natural y 10 cm para suelo tratado con cemento se escogieron en forma intencional, con la finalidad de evaluar la influencia del tratamiento de una subbase en el diseño, a pesar de presentar un espesor de subbase menor. Así como, para contrastar el ahorro, en material de subbase, que se lograría en caso de utilizarse.
- La construcción de la cámara húmeda llevo más tiempo del esperado, debido a que no se contó con fuente bibliográfica que sirva de guía durante la construcción, por lo cual, la construcción se realizó en base a constantes modificaciones y pruebas de funcionamiento, hasta lograr alcanzar los requerimientos de temperatura y de humedad relativa.
- Los elevados resultados de CBR del suelo cemento no fueron previstos antes de realizar la investigación, por ende, se tuvo la necesidad de ampliar los alcances de la investigación, buscando un método que permita determinar el módulo resiliente del suelo cemento y que, para el cual, se cuente con los equipos necesarios para llevarlo a cabo. El método seleccionado fue el ensayo de pulso ultrasónico, ya que permite determinar las constantes elásticas de un espécimen en función de la velocidad de

propagación de onda longitudinal y transversal, además, se encontraron investigaciones anteriores en las cuales se aplicó este ensayo en suelos adicionados con cemento, como los realizados por Guerrero Urquilla, L. E., Miranda Martínez, H. A., & Antonio Ramírez, J. (2008) y Serigos, P. A. (2009).

- La velocidad de propagación de onda transversal se determinó de forma indirecta, debido a que no se contó con transductores de ondas de corte, sino, solamente los de ondas de compresión. Para lo cual, se asumió un valor de coeficiente de Poisson de 0.25 en base a las recomendaciones del Instituto Español del Cemento y sus Aplicaciones, y que, este valor es concordante con otras fuentes bibliográficas.
- El análisis de sensibilidad aplicado en el diseño de espesores de losa en función del tráfico no se realizó para tráfico mayor a 7,500,000 de ESALs, debido a que los espesores de losa obtenidos para estos tráfico están fuera del contexto de la realidad de nuestro medio, resultando en espesores de losa superiores a 30 cm.

5.3. Relación de los resultados con las conclusiones de otras investigaciones

- El mínimo contenido de cemento, 3.83%, determinado para alcanzar la mínima resistencia a la compresión requerida por las EG-2013 (18 kg/cm²), es inferior al contenido de cemento típico, según el tipo de suelo (en el caso investigado, 5-9% para un A-2), que se requiere para tratar un suelo según la Portland Cement Association (Tabla 95). Esto, se debe a que el método de dosificación por compactación y resistencia de la IECA & CEDEX, busca optimizar la cantidad de cemento utilizada en el tratamiento de suelos, determinando que el contenido adecuado de cemento es aquel que cumpla las exigencias de resistencia mínimas para las tolerancias de diseño.

Tabla 95 - Porcentajes de cemento requeridos para distintos tipos de suelo (PCA)

Clasificación AASHTO	Rango de porcentaje de cemento con respecto al peso (%)
A-1-a	3-5
A-1-b	5-8
A-2	5-9
A-3	7-11
A-4	7-12
A-5	8-13
A-6	9-15
A-7	10-16

Fuente: Portland Cement Association (1956)

- A pesar de la variación de los resultados de los tiempos de vuelo (ver Tabla 89, pág. 126), la velocidad de onda longitudinal (1538.97 m/s), es menor que la de un concreto de



$f^c = 40 \text{ kg/cm}^2$ (2000 m/s) (ver Tabla 15, pág. 36). Con esto se verifica que el ensayo de velocidad de onda de ultrasónico es aplicable a especímenes de suelo cemento.

- El valor de módulo resiliente (649,925.37 psi) del suelo cemento (con 3.83% de cemento) concuerda con los valores típicos para un material tratado con cemento (600,000 psi – 1,000,000 psi) presentados por Garber, Rasmussen, & Harrington (2014) (ver Tabla 14, pág. 35).
- Los valores de CBR del suelo cemento (293.03% en promedio) se contrastan con los presentados por De la Fuente Lavallo (2013) (200% - 600%) en función de la resistencia a compresión (14 – 56 kg/cm²) (ver Tabla 12, pág. 33).
- Los valores de CBR del suelo natural (20.34%) se contrastan con los presentados por Menendez Acurio (2016a), 20%-40% para gravas arcillas (ver Tabla 9, pág. 20).
- No se concuerda con lo mencionado por el IECA (2003) que “las mayores caídas de resistencias se producen en la rama húmeda”, debido a que en el análisis de sensibilidad de la mezcla por humedad de compactación se observó que para una reducción de la humedad en 1% de la óptima, la resistencia a compresión se reduce en 16.2% y que para un incremento en 1% de la óptima, la resistencia a compresión se reduce en 4.6%. Esto, a consecuencia de que reduciendo la cantidad agua añadida, para el caso de la investigación, el contenido de agua presente en la mezcla no es el suficiente para la adecuada hidratación del cemento y, además, que la densidad seca alcanzada en la compactación es menor (ver Tabla 76, pág. 102).
- Se concuerda con lo mencionado por el IECA (2017) que “una disminución de 5% de la máxima densidad seca (Proctor Modificado) puede suponer perder entre el 25 a 50% de la resistencia a compresión”, debido a que para una densidad seca al 95% de la máxima, la resistencia a la compresión se reduce en 45.4%. Esto, se debe a que la energía de compactación necesaria para obtener tal densidad es 5 veces menor que la necesaria para alcanzar la máxima (ver Figura 68, pág. 101).

5.4. Implicaciones de los resultados obtenidos

- El valor de CBR deja de ser un medio verídico para evaluar un suelo tratado con cemento, debido a los elevados valores resultantes (ver Figura 91, pág. 125) y su complicada interpretación.
- La reducción en la resistencia a compresión de un material tratado con cemento cuando se varía la humedad, respecto a la óptima, y cuando se alcanzan menores densidades



secas, respecto a la de diseño, da a entender que la resistencia a compresión de una mezcla de suelo cemento es sensible a la variación de estos parámetros de compactación.

- La influencia de una subbase de suelo cemento, en el diseño de un pavimento, es mayor para tráficos ligeros o medianos y, este, disminuye a medida que el tráfico incrementa (ver Tabla 93, pág. 128).
- En los diseños se observa que el espesor de losa requerido es menor para una subbase tratada con cemento, incluso cuando el espesor de la capa de subbase es menor que la de una de suelo natural. Esto, muestra la considerable reducción en el consumo de material que se obtendría con su aplicación, reduciendo así, la explotación de canteras nuevas o existentes.



Glosario

Agregado: Porción del suelo que pasa el tamiz de $\frac{3}{4}$ " y queda retenido en el tamiz N° 4.

Bien gradado: Suelo, en el cual, existe una gradación continua de tamaños de partícula.

Bombeo de finos: Eyección de material fino y agua a través de juntas o fisuras.

Cemento Portland: Es un cemento hidráulico fabricado a base de clinker y yeso. El cual, con la adición de agua, se convierte en una pasta homogénea capaz de endurecer.

Correlación: Correspondencia o relación recíproca entre dos o más variables.

Ecuación elastodinámica o de Lamé: Ecuación utilizada para describir la propagación de ondas en medios homogéneos e isotrópicos.

Energía modificada: Energía de compactación equivalente a la del ensayo de Proctor Modificado.

Envolvente: Es la forma de la variación de la amplitud.

Equipo de compactación pesado: Equipo de compactación como rodillos lisos, vibratorios, sobre neumáticos, entre otros. Estos aplican una energía de compactación mayor que la brindada por los equipos comercializados antes de la segunda guerra mundial y es representada, en laboratorio, mediante el ensayo Proctor Modificado.

Espesor de losa: Espesor de losa de pavimento rígido diseñada para soportar un determinado tráfico.

Fraguado: Periodo donde el material se endurece debido a la hidratación del cemento.

Frecuencia: Número de veces que se repite una onda en una determinada unidad temporal.

Gradación: Disposición u orden de una cosa en grados sucesivos, ya sea ascendentes o descendentes.

Humedad relativa: Porcentaje de agua presente en el aire a una determinada temperatura.

Máquina de compresión hidráulica: Prensa hidráulica de alta estabilidad, programable para ensayos a compresión.

Material fino: Porción del suelo que pasa el tamiz N° 4.

Material tratado: Definición de material estabilizado con alguna adición que cumplirá una finalidad estructural.

Método AASHTO 93: Método de diseño de pavimentos rígidos propuesto por la Asociación Americana de Oficiales de Carreteras Estatales y Transportes en su Guía AASHTO para Diseño de Estructuras de Pavimentos de 1993.

Método no destructivo: Prueba práctica que se aplica a un material y no altera de forma permanente sus propiedades físicas, químicas, mecánicas o dimensionales.



Módulo de reacción efectiva de la subrasante: Definición dada por la AASHTO al módulo de reacción de la subrasante y de la subbase, corregido por pérdida de soporte.

Onda: Perturbación de las propiedades mecánicas de un medio material (posición, velocidad y energía de sus átomos o moléculas) que se propaga en el medio.

R.R. Proctor: Ingeniero civil estadounidense desarrollador de los ensayos Proctor Estándar y Proctor Modificado.

Sensibilidad por humedad de compactación: La sensibilidad que presenta un material a la variación en su contenido de humedad en la compactación, representada por un incremento o reducción de su resistencia.

Sensibilidad por densidad de compactación: La sensibilidad que presenta un material a la variación de la densidad seca que alcanza en la compactación, representada por un incremento o reducción de su resistencia.

Señal analítica: Es una señal compleja cuyo espectro de frecuencias es nulo para frecuencias negativas, y cuya parte real es igual a la señal original.

Señal discreta: Son aquellas señales en las cuales su dominio está especificado para ciertos valores finitos del tiempo

Suelo: Material no consolidado formado por partículas sólidas, líquidos y gases, provenientes de canteras.

Tráfico: Numero de repeticiones de ejes equivalentes, para el carril y periodo de diseño.

Nomenclatura

ACI	American Concrete Institute - Instituto Americano del Concreto
AASHTO	American Association of State Highway and Transportation Officials - Asociación Americana de Oficiales de Carreteras Estatales y Transportes
CBR	California Bearing Ratio – Relación de Soporte de California
CEDEX	Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas
IECA	Instituto Español del Cemento y sus Aplicaciones
INVIAS	Instituto Nacional de Vías
ISCYC	Instituto Salvadoreño del Cemento y el Concreto
MTC	Ministerio de Transportes y Comunicaciones
MVCS	Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento
PCA	Portland Cement Association – Asociación del Cemento Portland
PCC	Concreto de Cemento Portland

**Normas mencionadas**

AASHTO T 274	Standard Method of Test for Resilient Modulus of Subgrade Soils
AASHTO T 4123	Standard Method of Indirect Tension Test for Resilient Modulus of Bituminous Mixtures
ASTM C 469	Standard Test Method for Static Modulus of Elasticity and Poisson's Ratio of Concrete in Compression
ASTM D 559	Standard Test Methods for Wetting and Drying Compacted Soil-Cement Mixtures
ASTM D 1196	Standard Test Method for Nonrepetitive Static Plate Load Tests of Soils and Flexible Pavement Components, for Use in Evaluation and Design of Airport and Highway Pavements
ASTM D 1632	Standard Practice for Making and Curing Soil-Cement Compression and Flexure Test Specimens in the Laboratory
ASTM D 2845	Standard Test Method for Laboratory Determination of Pulse Velocities and Ultrasonic Elastic Constants of Rock
MTC E 107	Análisis granulométrico de suelos por tamizado
MTC E 110	Determinación del límite líquido de los suelos
MTC E 111	Determinación del límite plástico de los suelos e índice de plasticidad
MTC E 115	Compactación de suelos en laboratorio utilizando una energía modificada (Proctor Modificado)
MTC E 132	CBR de suelos (laboratorio)
MTC E 206	Peso específico y absorción de agregados gruesos
MTC E 1101	Preparación en el laboratorio de probetas de suelo – cemento
MTC E 1102	Relaciones humedad-densidad (suelo-cemento)
MTC E 1103	Resistencia a la compresión de probetas de suelo-cemento

Símbolos

C_d	= Coeficiente de drenaje
D	= Espesor del pavimento de concreto
D_{SB}	= Espesor de la subbase
EE	= Ejes equivalentes de 8.2 t
$ESAL$	= Equivalent single axle load - carga equivalente de un eje simple de 8.2 t
E_c	= Módulo de elasticidad del concreto
E_{sc}	= Módulo resiliente de la subbase de suelo cemento



- F = % de material pasante el tamiz N° 200
- $f'c$ = Resistencia a compresión del concreto
- IP = Índice plástico
- J = Coeficiente de transmisión de carga en las juntas
- k = Módulo efectivo de reacción de la subrasante
- k_c = Módulo de reacción combinado
- k_∞ = Módulo de reacción compuesto de la subrasante considerando que el lecho rocoso está a un espesor semiinfinito
- k_{rf} = Módulo de reacción corregido por profundidad de la cimentación rígida
- L = Longitud entre los transductores
- LL = Límite líquido
- LS = Factor de pérdida de soporte
- $M_{r(sr)}$ = Módulo resiliente de la subrasante
- $M_{r(sb)}$ = Módulo resiliente de la subbase de suelo natural
- p_t = Índice de serviciabilidad o servicio final
- ΔPSI = Diferencia entre los índices de servicio inicial y final
- S_o = Desviación estándar global
- S'_c = Resistencia a flexotracción del concreto
- t = Tiempo de vuelo
- TPx = Tipo de tráfico según la cantidad de EE, x = número de tipo (1 – 15)
- ν = Coeficiente de Poisson
- V_L = Velocidad de onda longitudinal
- V_T = Velocidad de onda transversal
- $W_{8.2}$ = Número previsto de ejes equivalentes de 8.2 t a lo largo del periodo de diseño
- Z_R = Desviación normal estándar



Conclusiones

Conclusión N° 01

Se logró afirmar la Hipótesis General donde indica que “El diseño de un pavimento rígido con subbase tratada con mínima cantidad de cemento, requiere un espesor de losa de concreto inferior en 2 cm al espesor de losa de concreto de un pavimento rígido con subbase sin tratar.”, ya que los espesores de losa determinados en el análisis de sensibilidad, en función del tráfico, para un pavimento con subbase tratada, con 3.83% de cemento, son inferiores a los de un pavimento con subbase natural, en 3.91 cm a 2.3 cm para tráfico de 150,000 de ESALs a 7,500,000 de ESALs.

Conclusión N° 02

Se logró afirmar la Sub Hipótesis N° 1 donde indica que “El suelo es de gradación de grano grueso con arcilla según el SUCS y la AASHTO.”, ya que, en función de los resultados de los ensayos de análisis granulométrico, límite líquido y límite plástico, el suelo se clasifica como una grava arcillosa con arena según el SUCS y un A-2-6 (2) según la AASHTO.

Conclusión N° 03

Se logró afirmar la Sub Hipótesis N° 2 donde indica que “Los porcentajes de humedad óptima para el suelo natural y el adicionado con 2%, 4% y 6% de cemento, son \leq a 9% y las máximas densidades secas son \leq a 2.20 gr/cm³; mediante ensayos de compactación con energía modificada.”, ya que se obtuvieron resultados de máxima densidad seca de 2.143, 2.150, 2.150 y 2.147 gr/cm³, y contenidos óptimos de humedad de 7.21, 7.17, 6.99 y 7.03% para muestras de suelo natural y suelo adicionado con 2%, 4% y 6% de cemento respectivamente.

Conclusión N° 04

Se logró afirmar la Sub Hipótesis N° 3 donde indica que “Los valores de resistencia a compresión de testigos de suelo cemento elaborados con 2%, 4% y 6% de cemento, según MTC E 1103, son mayores a 10 kg/cm².”, ya que, se alcanzaron valores de resistencia a compresión, a 7 días de curado húmedo, de 11.7, 22.0, 33.9 kg/cm² en especímenes elaborados con 2%, 4% y 6% de cemento respectivamente.

**Conclusión N° 05**

Se logró afirmar la Sub Hipótesis N° 4 donde indica que “La mínima cantidad de cemento a añadirse para alcanzar una resistencia a compresión de 18 kg/cm², según el método de dosificación por compactación y resistencia, es menor a 4%.”, ya que, en función de los resultados de resistencia a compresión de especímenes elaborados con 2%, 4% y 6% de cemento, se graficó una línea de tendencia, en la cual, se determinó que 3.83% de cemento es el necesario para alcanzar una resistencia de 21.6 kg/cm² (20% más que 18 kg/cm²), y que los valores de resistencia a compresión del análisis de sensibilidad por humedad y densidad de compactación son superiores a 18 kg/cm².

Conclusión N° 06

Se logró afirmar la Sub Hipótesis N° 5 donde indica que “El valor de CBR para el suelo sin tratar es mayor a 20% y para el tratado con mínima cantidad de cemento, es mayor a 100%.”, ya que se alcanzó un valor de CBR promedio de 20.34%, para especímenes de suelo natural, y un valor de 293.03%, para especímenes de suelo cemento con 3.83% de cemento.

Conclusión N° 07

Se logró afirmar la Sub Hipótesis N° 6 donde indica que “Los valores de módulo resiliente para el suelo sin tratar es mayor a 17,000 psi y para el tratado con mínima cantidad de cemento, es mayor a 600,000 psi.”, ya que se determinaron valores de módulo resiliente de 17,568.53 psi, para el suelo natural, y 649,925.37 psi, para el suelo tratado con 3.83% de cemento.

Conclusión N° 08

Se logró afirmar la Sub Hipótesis N° 7 donde indica que “Los valores de módulo de reacción combinado para subbase de suelo sin tratar y tratado con la mínima cantidad de cemento, de e=20 cm y 10 cm respectivamente, y sobre una subrasante con 6% de CBR son mayores a 10 Mpa/m.”, ya que se determinaron valores de módulo de reacción combinado de 12.13 MPa/m, para una subbase de suelo natural de 20 cm de espesor, y de 86.66 MPa/m, para una subbase tratada con 3.83% de cemento de 10 cm de espesor.

**Conclusión N° 09**

Se logró afirmar parcialmente la Sub Hipótesis N° 8 donde indica que “Los espesores de losa de concreto resultantes de diseños para tráfico de 150,000 de ESALs a 7,500,000 de ESALs y con los valores de módulo de reacción combinado determinados, método AASHTO (93), son \leq a 30 cm.”, ya que al determinar los espesores de losa necesarios, estos resultaron menores a 30 cm para diseños con una subbase tratada con 3.83% de cemento y para tráfico de hasta 7,500,000 de ESALs, sin embargo, para diseños con una subbase natural estos resultados fueron menores o iguales a 30 cm para tráfico de hasta 6,990,000 de ESALs.



Recomendaciones

Considerando la importancia de incrementar el conocimiento en el área de estudio se mencionan las siguientes recomendaciones:

- Evaluar el incremento de la resistencia a compresión de un material tratado con cemento bajo diferentes condiciones climáticas.
- Comparar la mejora de las propiedades de un material tratado con cemento con la mejora que se puede obtener mediante el tratamiento con otros tipos de adiciones; como el asfalto, la cal, la escoria, entre otros.
- Determinar la cantidad de cemento necesaria en el tratamiento de un material para que cumpla los requerimientos máximos de pérdida de peso permisible en ensayos de humedecimiento – secado y hielo – deshielo.
- Evaluar la influencia, en el diseño de pavimentos, de materiales tratados con cemento de mayores prestaciones, como la grava cemento.
- Evaluar la influencia, en el diseño de pavimentos flexibles, de materiales tratados con cemento.
- Evaluar la fisuración de materiales tratados con cemento.
- Evaluar las tolerancias de humedad y compactación mencionadas en el apartado 301.A - Suelos estabilizados con cemento del Manual de Carreteras: Especificaciones Técnicas Generales para Construcción (EG-2013) del Ministerios de Transportes y Comunicaciones.

En función de los resultados de la investigación, se formulan algunas sugerencias para la ejecución y control de proyectos de pavimentación:

- Utilizar el tratamiento con cemento de subbases en el diseño y en la ejecución de pavimentos rígidos.
- Brindar un adecuado curado a capas de subbase o base tratadas con cemento, a fin de evitar su figuración y perdida de resistencia.
- Verificar que la humedad y densidad de compactación, con la que se conforma una subbase o base tratada con cemento, estén acordes a las de su diseño.
- Controlar la calidad de compactación mediante el método de densímetro nuclear y ensayos de resistencia a compresión.



Referencias

- American Association of State Highway and Transportation Officials. (1993). *Guía AASHTO para el Diseño de Estructuras de Pavimentos*. Washington: American Association of State Highway and Transportation Officials.
- American Concrete Institute. (2015). *Building Code Requirements for Structural Concrete (ACI 318M-14) and Commentary (ACI 318M-14)*. Farmington Hills, Michigan: American Concrete Institute.
- Arce Jiménez, M. (2011). *Boletín Técnico PITRA: Bases estabilizadas con cemento - Algunos comentarios sobre sus ventajas e inconvenientes. Vol 2. N°19*. San José, Costa Rica: Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales (LanammeUCR).
- Begoña Moya, I. (2009). *Análisis tiempo-frecuencia de la señal de vibración de un cambiador de tomas en carga. (Tesis de Pregrado)*. Madrid, España: Universidad Carlos III de Madrid.
- Bowles, J. E. (1980). *Manual de Laboratorios de Suelos en Ingeniería Civil*. Bogotá, Colombia: McGraw-Hill Latinoamericana S. A.
- Christopher, B. R., Schwartz, C., & Boudreau, R. (2006). *Geotechnical Aspects of Pavements*. Washington: National Highway Institute.
- Daniel, J. S., Chehab, G. R., Ayyala, D., & Nogaj, I. M. (2012). *New England Verification of National Cooperative Highway Research Program (NCHRP) 1-37A "Mechanistic-Empirical Pavement Design Guide (MEPDG)"*. Durham, New Hampshire: University of New Hampshire.
- De la Fuente Lavalley, E. (2013). *Suelo - Cemento: Sus usos, propiedades y aplicaciones*. Ciudad de México, México: Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, A. C. .
- Flores Loza, G. (2011). *Efecto de fatiga en un material de base estabilizado con cemento "Pavimento flexible". (Tesis de Postgrado)*. México: Universidad Nacional Autónoma de México.
- Garber, S., Rasmussen, R. O., & Harrington, D. (2014). *Guide to Cement-Based Integrated Pavement Solutions*. Institute for Transportation Iowa State University: Ames, Iowa, EE.UU.
- Gobierno Regional Cusco - Presidencia Regional. (2012). *Convenio N° 193-2012-GR CUSCO/PR - Convenio de colaboración entre el Gobierno Regional Cusco y la Comunidad Campesina Quillahuata*. Cusco: Gobierno Regional Cusco.



- Gómez Gutiérrez, E. (2009). *Introducción al filtrado digital*. Barcelona, España: Escola Superior de Musica de Catalunya.
- González Ayala, V. A. (2011). *Análisis y aplicación de técnicas ultrasónicas para ensayos no destructivos en materiales no homogéneos. (Tesis Doctoral)*. Sevilla, España: Universidad de Sevilla.
- Guerrero Urquilla, L. E., Miranda Martínez, H. A., & Antonio Ramírez, J. (2008). *Correlación del Módulo de Elasticidad Dinámico, Resistencia a la Compresión y Coeficiente de Capa en Bases de Suelo Cemento. (Tesis de Pregrado)*. San Salvador, El Salvador: Universidad de El Salvador.
- Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, P. (2006). *Metodología de la investigación. Cuarta edición*. México: McGraw-Hill.
- Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, P. (2010). *Metodología de la Investigación. Quinta Edición*. México: McGraw-Hill.
- Hveem, F. N., & Zube, E. (1963). *California Mix Design for Cement Treated Bases*. Sacramento, California, EE.UU.: California Division of Highways.
- Instituto Español del Cemento y sus Aplicaciones & Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas. (2003). *Manual de Capas Tratadas con Cemento*. Madrid: Ministerio de Fomento.
- Instituto Español del Cemento y sus Aplicaciones. (2008). *Manual de Estabilización de Suelos con Cemento o Cal*. Madrid: Instituto Español del Cemento y sus Aplicaciones.
- Instituto Español del Cemento y sus Aplicaciones. (2017). *Firmes con capas de materiales tratados con cemento*. Madrid: Instituto Español del Cemento y sus Aplicaciones.
- Instituto Geológico Minero y Metalúrgico . (2009). *Mapa geológico del cuadrángulo de Cusco Hoja 28-s Cuadrante-IV*. Lima: Instituto Geológico Minero y Metalúrgico .
- Instituto Nacional de Vías. (2012a). *Consortio Normas 2012*. Bogotá, Colombia: Instituto Nacional de Vías.
- Instituto Nacional de Vías. (2012b). *Normas de Ensayo de Materiales para Carreteras*. Bogotá: Instituto Nacional de Vías.
- Instituto Salvadoreño del Cemento y del Concreto. (2006). El Estado del Arte del Suelo Cemento en Estructuras de Pavimentos. *Revista ISCYC N° 43*, 5-18.
- Instituto Salvadoreño del Cemento y del Concreto. (2012). Mayor Conocimiento del Suelo Cemento, mejor desempeño en sus diversas aplicaciones. *Revista ISCYC N° 62*, 5-12.
- Jiménez Tintaya, C. O. (2007). *Revista de Investigación de Física Vol. 10 N°2 "Procesamiento digital de señales sísmicas con Matlab"*. Lima: Instituto Geofísico del Perú.



- Juárez Badillo, E., & Rico Rodríguez, A. (1995). *Mecánica de Suelos - Tomo 1: Fundamentos de la Mecánica de Suelos*. Ciudad de México, México: Editorial Limusa, S.A. de C.V.
- Londoño Naranjo, C. A., & Alvarez Pabón, J. A. (2008). *Manual de diseño de pavimentos de concreto: para vías con bajos, medios y altos volúmenes de tránsito*. Bogotá: Instituto Colombiano de Productores de Cemento (ICPC).
- Menéndez Acurio, J. R. (2016). *Ingeniería de Pavimentos - Tomo 3: Diseño de Pavimentos*. Lima: Instituto de la Construcción y Gerencia.
- Menéndez Acurio, J. R. (2016a). *Ingeniería de Pavimentos - Tomo 1: Materiales*. Lima: Instituto de la Construcción y Gerencia.
- Menéndez Acurio, J. R. (2016b). *Ingeniería de Pavimentos - Tomo 2: Variables de Diseño*. Lima: Instituto de la Construcción y Gerencia.
- Ministerio de Fomento. (2015). *Pliego de Prescripciones Técnicas Generales para Obras de Carreteras y Puentes (PG-3)*. Madrid: Ministerio de Fomento.
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2013). *Manual de carreteras: Especificaciones Técnicas Generales para Construcción EG-2013*. Lima: Ministerio de Transportes y Comunicaciones.
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2014). *"Manual de Carreteras" Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos - Sección: Suelos y Pavimentos*. Lima: Ministerio de Transportes y Comunicaciones.
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2016). *Manual de Ensayo de Materiales*. Lima: Ministerio de Transportes y Comunicaciones.
- Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. (2010). *Reglamento Nacional de Edificaciones - Norma CE.010: Pavimentos Urbanos*. Lima: Servicio Nacional de Capacitación para la Industria de la Construcción - SENCICO.
- Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. (2012). *Norma CE.020 Estabilización de Suelos y Taludes*. Lima: Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento.
- Molero Armenta, M. A. (2009). *Caracterización de Materiales Cementicios Mediante la Dispersión Ultrasónica. (Tesis Doctoral)*. Madrid: Universidad Politécnica de Madrid.
- Monje Álvarez, C. A. (2011). *Metodología de la investigación cuantitativa y cualitativa Guía dicáctica*. Neiva: Universidad Surcolombiana Facultad de Ciencias Sociales y Humanas Programa de Comunicación Social y Periodismo.
- Montejo Fonseca, A. (2002). *Ingeniería de Pavimentos para carreteras*. Bogotá: Universidad Católica de Colombia.



- Murillo Vázquez, E. X. (2010). *Estudio del comportamieto de las bases de pavimentos rígidos en la ciudad de cuenca y su influencia en el diseño. (Tesis de Postgrado)*. Cuenca, Ecuador: Universidad de Cuenca.
- Pineda V., C., Bernal G., A., Espinoza M., R., Hernández D, C., Marín A., N., Peña A., A. H., . . . Solano A., C. (2009). *Principios Físicos Básicos del Ultrasonido*. Ciudad de México, México: Instituto Nacional de Rehabilitación.
- Portland Cement Association. (1956). *Soil-cement laboratoru handbook*. Chicago, Illinois, EE.UU.: Portland Cement Association.
- Powell, W., Potter, J., Mayhew, H., & Nunn, M. (1984). *TRRL Laboratory Report 1132 "The Structural Design of Bituminous Roads"*. Crowthorne, Berkshire, UK: Transport and Road Research Laboratory .
- Proceq SA. (2014). *Folleto de Ventas Pundit® PL-200 - Pundit® PL-200PE*. Schwerzenbach, Suiza: Proceq SA.
- Serigos, P. A. (2009). *Rigidez a baja deformación de mezclas de suelo de la Formación Pampeano y Cemento Portland. (Tesis de Pregrado)*. Buenos Aires, Argentina: Facultad de Ingeniería de la Universidad de Buenos Aires.
- Swan, C. C. (2005). *53:030 Class Notes - Lecture 2: Grain Size Distributions and Soil Particle Characteristics*. Iowa City, Iowa, EE. UU.: La Universidad de Iowa.
- Swedish Deep Stabilization Research Centre. (2005). *Proceedings of the International Conference on Deep Mixing – Best Practice and Recent Advances, Deep Mixing'05*. Estocolmo, Suecia: Swedish Geotechnical Institute.
- Torres Martínez, J. G., & Pérez Madera, E. S. (2011). *Efecto sobre la velocidad de pulso ultrasónico de la presencia de daño en concreto sin refuerzo. (Tesis de Pregrado)*. Bucaramanga, Colombia: Universidad Industrial de Santander.
- Von Quintus, H., & Killingsworth, B. (1997). *Design Pamphlet for the Backcalculation of Pavement Layer Moduli in Support of the 1993 AASHTO Guide for the Design of Pavement Structures*. McLean, Virginia: Office of Engineering Research & Development Federal Highway Administration.

Anexos

Anexo 1 – Matriz de consistencia

TITULO:	Evaluación comparativa del diseño de un pavimento rígido con subbase tratada con mínima cantidad de cemento y una sin tratar, utilizando material de la cantera de Quillahuata y aplicado a tráfico variado			
Problema	Objetivo	Hipotesis	Variables	Indicadores
General	General	General	Dependientes	
¿Cómo varía el diseño, método AASHTO (93), de un pavimento rígido de subbase tratada con mínima cantidad de cemento y una sin tratar; utilizando material de la cantera de Quillahuata y aplicado a tráfico variado?	Comparar el diseño, método AASHTO (93), de un pavimento rígido de subbase tratada con mínima cantidad de cemento y una sin tratar; utilizando material de la cantera de Quillahuata y aplicado a tráfico variado.	El diseño de un pavimento rígido con subbase tratada con mínima cantidad de cemento, requiere un espesor de losa de concreto inferior en 2 cm al espesor de losa de concreto de un pavimento rígido con subbase sin tratar.	Espesor de losa de concreto	Espesor (cm)
			Interviniente	
			Clasificación del suelo	Clasificación (SUCS y AASHTO)
			Humedad óptima	Cantidad de agua (%)
Problemas Específicos	Objetivos Específicos	Hipotesis Específicas	Independientes	
¿Cómo se clasifica el suelo según el SUCS y la AASHTO?	Determinar la clasificación del suelo según el SUCS y la AASHTO.	El suelo es de gradación de grano grueso con arcilla según el SUCS y la AASHTO.	Máxima densidad seca	Máxima densidad seca
			Resistencia a la Compresión Inconfinada	kg/cm ²
¿Cuáles son los porcentajes de humedad óptima y las máximas densidades secas del suelo natural y el adicionando con 2%, 4% y 6% de cemento, mediante ensayos de compactación con energía modificada?	Determinar los porcentajes de humedad óptima y las máximas densidades secas del suelo natural y el adicionando con 2%, 4% y 6% de cemento, mediante ensayos de compactación con energía modificada.	Los porcentajes de humedad óptima para el suelo natural y el adicionado con 2%, 4% y 6% de cemento, son =<a 9% y la máximas densidades secas son =<a 2.20 gr/cm ³ ; mediante ensayos de compactación con energía modificada.	Mínima cantidad de cemento	Cantidad de Cemento (%)
			Valor relativo de soporte (CBR)	Resistencia del suelo (%)
			Clasificación del suelo	Clasificación (SUCS y AASHTO)
¿Cuáles son los valores de resistencia a compresión de testigos de suelo-cemento elaborados con 2%, 4% y 6% de cemento, según MTC E 1103?	Determinar los valores de resistencia a compresión de testigos de suelo-cemento elaborados con 2%, 4% y 6% de cemento, según MTC E 1103.	Los valores de resistencia a compresión de testigos de suelo-cemento elaborados con 2%, 4% y 6% de cemento, según MTC E 1103, son mayores a 10 kg/cm ² .	Módulo Resiliente	Módulo Resiliente (Mpa)
			Módulo de reacción combinado	Módulo de reacción combinado "k" (Mpa/m)
			Independiente	
¿Cuál es la mínima cantidad de cemento a añadirse para alcanzar una resistencia a la compresión de 18 kg/cm ² , según el método de dosificación por compactación y resistencia?	Determinar la mínima cantidad de cemento a añadirse para alcanzar una resistencia a la compresión de 18 kg/cm ² , según el método de dosificación por compactación y resistencia.	La mínima cantidad de cemento a añadirse para alcanzar una resistencia a la compresión de 18 kg/cm ² , según el método de dosificación por compactación y resistencia, es menor a 4%.	Cemento adicionado	Cemento adicionado (%)
			Tráfico	ESALS
¿Cuáles son los valores de CBR para el suelo sin tratar y el tratado con mínima cantidad de cemento?	Determinar los valores de CBR para el suelo sin tratar y el tratado con mínima cantidad de cemento.	El valor de CBR para el suelo sin tratar es mayor a 20% y para el tratado con mínima cantidad de cemento, es mayor a 100%.		
¿Cuáles son los valores de módulo resiliente para el suelo sin tratar y el tratado con mínima cantidad de cemento?	Determinar los valores de módulo resiliente para el suelo sin tratar y el tratado con mínima cantidad de cemento.	Los valores de módulo resiliente para el suelo sin tratar es mayor a 17,000 psi y para el tratado con mínima cantidad de cemento, es mayor a 600,000 psi.		
¿Cuáles son los valores de módulo de reacción combinado para subbase de suelo sin tratar y tratado con la mínima cantidad de cemento, de e=20 cm y 10 cm respectivamente, y sobre una subrasante con 6% de CBR?	Determinar los valores de módulo de reacción combinado para subbase de suelo sin tratar y tratado con la mínima cantidad de cemento, de e=20 cm y 10 cm respectivamente, y sobre una subrasante con 6% de CBR.	Los valores de módulo de reacción combinado para subbase de suelo sin tratar y tratado con la mínima cantidad de cemento, de e=20 cm y 10 cm respectivamente, y sobre una subrasante con 6% de CBR son mayores a 10 Mpa/m.		
¿Cuáles son los espesores de losa de concreto resultantes de diseños para tráficos de 150,000 de ESALS a 7,500,000 de ESALS y con los valores de módulo de reacción combinado determinados, método AASHTO (93)?	Determinar los espesores d losa de concreto resultantes de diseños para tráficos de 150,000 de ESALS a 7,500,000 de ESALS y con los valores de módulo de reacción combinado determinados, método AASHTO (93).	Los espesores de losa de concreto resultantes de diseños para tráficos de 150,000 de ESALS a 7,500,000 de ESALS y con los valores de módulo de reacción combinado determinados, método AASHTO (93), son <= a 30 cm.		

Anexo 2 – Registro fotográfico



Fotografía 1: Construcción del espacio que almacenará el agua (Cámara Húmeda)



Fotografía 2: Colocado de resistencia eléctrica (1er intento)



Fotografía 3: Instalación de bolla



Fotografía 4: Instalación de sujetador de bolla y resistencia eléctrica (2do intento)



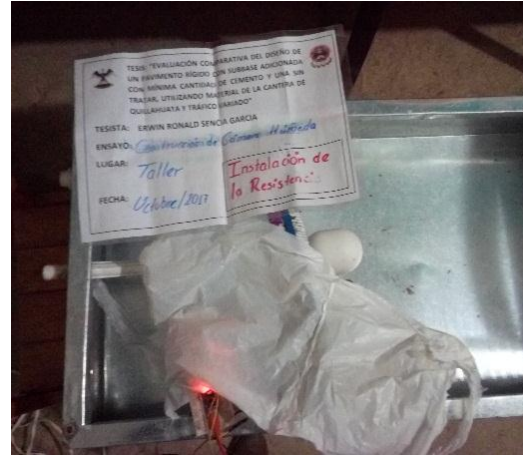
Fotografía 5: Prueba de filtración y desfogue



Fotografía 6: Verificación de bolla



Fotografía 7: Prueba para determinar la humedad relativa y la temperatura



Fotografía 8: Prueba de verificación del sensor



Fotografía 9: Armado de Cámara Húmeda



Fotografía 10: Cámara Húmeda recién pintada



Fotografía 11: Instalación de los sensores



Fotografía 12: Control de temperatura y humedad relativa durante el curado de los testigos de suelo cemento



Fotografía 13: Extracción de material de la cantera de Quillahuata



Fotografía 14: Cuarte previo al análisis granulométrico



Fotografía 15: Lavado del suelo previo al tamizado



Fotografía 16: Muestras para el análisis granulométrico



Fotografía 17: Tamizado manual de las muestras para el análisis granulométrico



Fotografía 18: Tamizado del material para el ensayo Relación humedad-densidad (suelo cemento)



Fotografía 19: Toma de muestra para determinar la absorción del agregado



Fotografía 20: Secado del material fino



Fotografía 21: Pesado del agregado para el ensayo Relación humedad-densidad (suelo cemento)



Fotografía 22: Pesado del material fino para el ensayo Relación humedad-densidad (suelo cemento)



Fotografía 23: Mezclado del material fino con el cemento



Fotografía 24: Incorporación de agua a la mezcla de material fino y cemento



Fotografía 25: Distribución uniforme de la humedad



Fotografía 26: Incorporación del agregado a la mezcla de material fino, cemento y agua



Fotografía 27: Enrasado del espécimen, ensayo Relación humedad-densidad (suelo cemento)



Fotografía 28: Pesado del espécimen compactado



Fotografía 29: Extracción de la muestra, ensayo Relación humedad-densidad (suelo cemento)



Fotografía 30: Extracción de muestra de mezcla compactada para determinar el contenido de humedad



Fotografía 31: Disgregado de la muestra compactada para mezclarla con el remanente



Fotografía 32: Porciones de suelo para determinar el contenido de humedad, de más a menos húmedo



Fotografía 33: Muestras para determinar el contenido de humedad de mezclas con 2% de cemento, ensayo de compactación



Fotografía 34: Muestras para determinar el contenido de humedad de mezclas con 4% de cemento, ensayo de compactación



Fotografía 35: Muestras para determinar el contenido de humedad con el que se elaboraron los testigos con 2% de cemento



Fotografía 36: Retirado de testigo de suelo cemento de la cámara húmeda, para ensayo de resistencia a la compresión



Fotografía 37: Toma de medidas de testigos de suelo cemento



Fotografía 38: Sumergido de testigos de suelo cemento, previo a la rotura



Fotografía 39: Testigos elaborados con 2 y 4% de cemento sumergidos en agua



Fotografía 40: Retirado de testigo de suelo cemento del agua, para ser ensayado a compresión



Fotografía 41: Testigo sometido a compresión inmediatamente luego de ser retirado del agua



Fotografía 42: Testigos elaborados con 2, 4 y 6% de cemento sometidos a compresión



Fotografía 43: Escarificado durante la compactación, para una adecuada adherencia entre capas



Fotografía 44: Rotura de testigos por no presentar escarificación



Fotografía 45: Muestras para determinar el contenido de humedad de testigos elaborados para el análisis de sensibilidad por humedad y densidad de compactación



Fotografía 46: Asesoramiento, por parte del asesor, del curado de testigos de suelo cemento



Fotografía 47: Testigos de suelo cemento sometidos a compresión para el análisis de sensibilidad por humedad y densidad de compactación



Fotografía 48: Testigos de suelo cemento sometidos a compresión para el análisis de sensibilidad por humedad y densidad de compactación



Fotografía 49: Asesoramiento, por parte del asesor, del adecuado compactado en el ensayo Proctor Modificado



Fotografía 50: Muestras para determinar el contenido de humedad de los ensayos de Proctor Modificado



Fotografía 51: Secado de muestras para determinar el contenido de humedad de los ensayos de Proctor Modificado



Fotografía 52: Muestras para determinar el contenido de humedad del suelo a ser utilizado en ensayos de CBR



Fotografía 53: Compactado de espécimen para ensayo de CBR de suelo cemento



Fotografía 54: Muestras para determinar el contenido de humedad de especímenes del ensayo de CBR de suelo cemento



Fotografía 55: Secado de muestras para determinar el contenido de humedad de especímenes del ensayo de CBR de suelo cemento



Fotografía 56: Verificación, por parte del asesor, del adecuado curado de especímenes para ensayo de CBR de suelo cemento



Fotografía 57: Retirado de especímenes de la cámara húmeda para ensayo de CBR de suelo cemento



Fotografía 58: Lectura de expansiones de especímenes para ensayo de CBR de suelo cemento



Fotografía 59: Colocado de espécimen de suelo cemento en prensa de CBR



Fotografía 60: Mínima penetración en espécimen de suelo cemento (55 golpes)



Fotografía 61: Muestra para determinar el contenido de humedad alrededor del área de penetración (CBR-SC-03)



Fotografía 62: Muestras para determinar el contenido de humedad de los especímenes del ensayo de CBR suelo natural



Fotografía 63: Especímen de CBR de suelo natural luego de la penetración



Fotografía 64: Muestras de contenido de humedad de la zona alrededor del área de penetración de los ensayos de CBR suelo natural



Fotografía 65: Asesoramiento por parte del ingeniero dictaminante en el ensayo de velocidad de pulso ultrasónico



Fotografía 66: Pesado de testigos de suelo cemento, previo a la propagación de ondas



Anexo 3 – Hojas de cálculo del ensayo de análisis granulométrico

FORMATO PARA LA RECOLECCIÓN DE DATOS
UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL

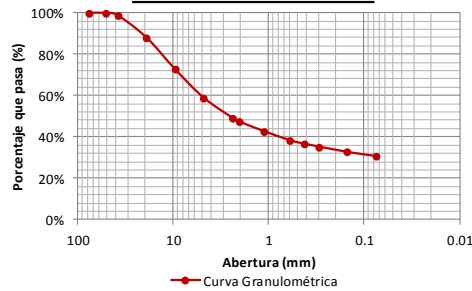
TESIS: "EVALUACIÓN COMPARATIVA DEL DISEÑO DE UN PAVIMENTO RÍGIDO CON SUBBASE TRATADA CON MÍNIMA CANTIDAD DE CEMENTO Y UNA SIN TRATAR, UTILIZANDO MATERIAL DE LA CANTERA DE QUILLAHUATA Y APLICADO A TRÁFICO VARIADO"

ENSAYO DE ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO (MTC E107)

Muestra: AG - 1			
Antes del lavado		Después del lavado	
Peso de la muestra seca (gr)	7140.00	Peso de la muestra seca (gr)	4965.10
		Porcentaje de suelo lavado (gr)	30.46%

Tamiz	Abertura (mm)	Peso retenido (gr)	% Retenido	% Retenido acumulado	% Pasante
3"	75.000	0.00	0.00%	0.00%	100.00%
2"	50.800	0.00	0.00%	0.00%	100.00%
1 1/2"	38.100	79.70	1.12%	1.12%	98.88%
3/4"	19.000	770.60	10.79%	11.91%	88.09%
3/8"	9.500	1102.60	15.44%	27.35%	72.65%
N° 4	4.760	986.60	13.82%	41.17%	58.83%
N° 8	2.360	701.00	9.82%	50.99%	49.01%
N° 10	2.000	124.00	1.74%	52.72%	47.28%
N° 16	1.100	335.80	4.70%	57.43%	42.57%
N° 30	0.590	308.00	4.31%	61.74%	38.26%
N° 40	0.425	114.80	1.61%	63.35%	36.65%
N° 50	0.297	100.00	1.40%	64.75%	35.25%
N° 100	0.149	187.20	2.62%	67.37%	32.63%
N° 200	0.075	139.80	1.96%	69.33%	30.67%
Fondo	--	23.00	0.32%	-	-
Total retenido (gr):		4973.10		Error (%):	0.16%

Curva Granulométrica



FORMATO PARA LA RECOLECCIÓN DE DATOS
UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL

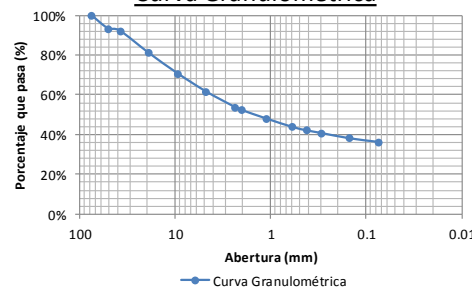
TESIS: "EVALUACIÓN COMPARATIVA DEL DISEÑO DE UN PAVIMENTO RÍGIDO CON SUBBASE TRATADA CON MÍNIMA CANTIDAD DE CEMENTO Y UNA SIN TRATAR, UTILIZANDO MATERIAL DE LA CANTERA DE QUILLAHUATA Y APLICADO A TRÁFICO VARIADO"

ENSAYO DE ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO (MTC E107)

Muestra: AG - 2			
Antes del lavado		Después del lavado	
Peso de la muestra seca (gr)	7220.00	Peso de la muestra seca (gr)	4623.70
		Porcentaje de suelo lavado (gr)	35.96%

Tamiz	Abertura (mm)	Peso retenido (gr)	% Retenido	% Retenido acumulado	% Pasante
3"	75.000	0.00	0.00%	0.00%	100.00%
2"	50.800	467.30	6.47%	6.47%	93.53%
1 1/2"	38.100	84.60	1.17%	7.64%	92.36%
3/4"	19.000	803.70	11.13%	18.78%	81.22%
3/8"	9.500	740.40	10.25%	29.03%	70.97%
N° 4	4.760	662.30	9.17%	38.20%	61.80%
N° 8	2.360	567.40	7.86%	46.06%	53.94%
N° 10	2.000	108.40	1.50%	47.56%	52.44%
N° 16	1.100	310.90	4.31%	51.87%	48.13%
N° 30	0.590	301.70	4.18%	56.05%	43.95%
N° 40	0.425	116.60	1.61%	57.66%	42.34%
N° 50	0.297	99.30	1.38%	59.04%	40.96%
N° 100	0.149	192.10	2.66%	61.70%	38.30%
N° 200	0.075	129.30	1.79%	63.49%	36.51%
Fondo	--	27.00	0.37%	-	-
Total retenido (gr):		4611.00		Error (%):	0.27%

Curva Granulométrica



FORMATO PARA LA RECOLECCIÓN DE DATOS
UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL

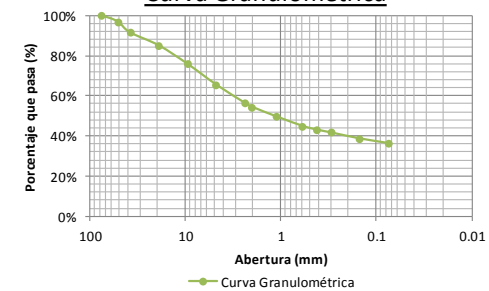
TESIS: "EVALUACIÓN COMPARATIVA DEL DISEÑO DE UN PAVIMENTO RÍGIDO CON SUBBASE TRATADA CON MÍNIMA CANTIDAD DE CEMENTO Y UNA SIN TRATAR, UTILIZANDO MATERIAL DE LA CANTERA DE QUILLAHUATA Y APLICADO A TRÁFICO VARIADO"

ENSAYO DE ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO (MTC E107)

Muestra: AG - 3			
Antes del lavado		Después del lavado	
Peso de la muestra seca (gr)	8100.00	Peso de la muestra seca (gr)	5171.30
		Porcentaje de suelo lavado (gr)	36.16%

Tamiz	Abertura (mm)	Peso retenido (gr)	% Retenido	% Retenido acumulado	% Pasante
3"	75.000	0.00	0.00%	0.00%	100.00%
2"	50.800	252.10	3.11%	3.11%	96.89%
1 1/2"	38.100	432.60	5.34%	8.45%	91.55%
3/4"	19.000	523.30	6.46%	14.91%	85.09%
3/8"	9.500	744.40	9.19%	24.10%	75.90%
N° 4	4.760	833.80	10.29%	34.40%	65.60%
N° 8	2.360	746.40	9.21%	43.61%	56.39%
N° 10	2.000	149.70	1.85%	45.46%	54.54%
N° 16	1.100	394.00	4.86%	50.32%	49.68%
N° 30	0.590	375.50	4.64%	54.96%	45.04%
N° 40	0.425	142.30	1.76%	56.72%	43.28%
N° 50	0.297	120.10	1.48%	58.20%	41.80%
N° 100	0.149	239.80	2.96%	61.16%	38.84%
N° 200	0.075	184.30	2.28%	63.44%	36.56%
Fondo	--	42.90	0.53%	-	-
Total retenido (gr):		5181.20		Error (%):	0.19%

Curva Granulométrica



Anexo 4 – Hoja de cálculo de volúmenes de moldes utilizados

FORMATO PARA LA RECOLECCIÓN DE DATOS UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL									
TESIS: "EVALUACIÓN COMPARATIVA DEL DISEÑO DE UN PAVIMENTO RÍGIDO CON SUBBASE TRATADA CON MÍNIMA CANTIDAD DE CEMENTO Y UNA SIN TRATAR, UTILIZANDO MATERIAL DE LA CANTERA DE QUILLAHUATA Y APLICADO A TRÁFICO VARIADO"									
CÁLCULO DE VOLÚMENES DE MOLDES									
Molde utilizado en el ensayo Proctor Modificado									
Molde	Altura (mm)			Promedio	Diámetro (mm)			Promedio	Volumen (cm3)
4	116.39	116.39	116.40	116.39	152.38	152.41	152.40	152.40	2123.09
Molde utilizado en ensayos de compactación y elaboración de testigos de suelo cemento									
Molde	Altura (mm)			Promedio	Diámetro (mm)			Promedio	Volumen (cm3)
1	116.40	116.40	116.30	116.37	101.60	101.50	101.50	101.53	942.18
Moldes utilizados en el ensayo de CBR de suelo natural									
Molde	Altura (mm)		Altura Promedio (mm)	Diámetro (mm)		Diámetro Promedio (mm)	Altura del disco espaciador (mm)	Volumen de suelo compactado	
M-1	178.00	177.50	177.75	152.20	152.30	152.25	61.40	2118.22	
M-2	177.60	177.70	177.65	152.40	152.50	152.45	61.40	2121.96	
M-4	177.90	177.80	177.85	152.30	152.40	152.35	61.40	2122.83	
M-5	177.60	177.60	177.60	152.40	152.40	152.40	61.40	2119.66	
B-1	177.40	177.40	177.40	152.30	152.40	152.35	61.40	2114.62	
D-1	177.60	177.80	177.70	152.40	152.40	152.40	61.40	2121.48	
A-1	177.70	177.80	177.75	152.20	152.20	152.20	61.40	2116.83	
L-1	177.60	177.70	177.65	152.30	152.40	152.35	61.40	2119.18	
C-1	177.80	177.80	177.80	152.30	152.30	152.30	61.40	2120.52	
Moldes utilizados en el ensayo de CBR de suelo cemento									
Molde	Altura (mm)		Altura Promedio (mm)	Diámetro (mm)		Diámetro Promedio (mm)	Altura del disco espaciador (mm)	Volumen de suelo compactado	
M-1	177.80	177.80	177.80	152.10	152.20	152.15	61.40	2116.35	
M-2	177.60	177.70	177.65	152.40	152.50	152.45	61.40	2121.96	
M-3	178.00	177.50	177.75	152.20	152.30	152.25	61.40	2118.22	
M-4	177.90	177.80	177.85	152.30	152.40	152.35	61.40	2122.83	
M-5	177.60	177.60	177.60	152.40	152.40	152.40	61.40	2119.66	
M-6	177.80	177.80	177.80	152.50	152.40	152.45	61.40	2124.70	
A-1	177.70	177.80	177.75	152.20	152.20	152.20	61.40	2116.83	
A-2	177.20	177.40	177.30	152.40	152.40	152.40	61.40	2114.19	
A-3	177.50	177.60	177.55	152.30	152.30	152.30	61.40	2115.97	



Anexo 5 – Hojas de cálculo del ensayo Proctor Modificado

FORMATO PARA LA RECOLECCIÓN DE DATOS
UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL

TESIS: "EVALUACIÓN COMPARATIVA DEL DISEÑO DE UN PAVIMENTO RÍGIDO CON SUBBASE TRATADA CON MÍNIMA CANTIDAD DE CEMENTO Y UNA SIN TRATAR, UTILIZANDO MATERIAL DE LA CANTERA DE QUILLAHUATA Y APLICADO A TRÁFICO VARIADO"

ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO (MTC E 115)

Muestra: PM - 1

Densidad de la muestra				
Descripción	Espécimen 01	Espécimen 02	Espécimen 03	Espécimen 04
Molde	4	4	4	4
Volumen del Molde (cm3)	2123.09	2123.09	2123.09	2123.09
Peso Molde (gr)	6029.00	6029.00	6029.00	6029.00
Peso Molde + Suelo Compactado (gr)	10460.00	10697.00	10931.00	10908.00
Peso Suelo Compactado (gr)	4431.00	4668.00	4902.00	4879.00
Densidad Húmeda (gr/cm3)	2.09	2.20	2.31	2.30
Densidad Seca (gr/cm3)	2.02	2.09	2.14	2.11

Contenido de Humedad				
Descripción	Espécimen 01	Espécimen 02	Espécimen 03	Espécimen 04
Cápsula	T-18	T-23	T-3	T-4
Peso Cápsula (gr)	68.86	69.23	67.93	67.90
Peso de Muestra Húmeda + Cápsula (gr)	585.58	584.07	582.31	569.87
Peso de Muestra Seca + Cápsula (gr)	568.88	558.90	544.86	528.58
Peso Agua (gr)	16.70	25.17	37.45	41.29
Peso Muestra Seca (gr)	500.02	489.67	476.93	460.68
Contenido de Humedad (%)	3.34%	5.14%	7.85%	8.96%

Curva de Compactación

Contenido de humedad óptimo (%)	7.40%	Máxima densidad seca (gr/cm3)	2.143
---------------------------------	-------	-------------------------------	-------

FORMATO PARA LA RECOLECCIÓN DE DATOS
UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL

TESIS: "EVALUACIÓN COMPARATIVA DEL DISEÑO DE UN PAVIMENTO RÍGIDO CON SUBBASE TRATADA CON MÍNIMA CANTIDAD DE CEMENTO Y UNA SIN TRATAR, UTILIZANDO MATERIAL DE LA CANTERA DE QUILLAHUATA Y APLICADO A TRÁFICO VARIADO"

ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO (MTC E 115)

Muestra: PM - 2

Densidad de la muestra				
Descripción	Espécimen 01	Espécimen 02	Espécimen 03	Espécimen 04
Molde	4	4	4	4
Volumen del Molde (cm3)	2123.09	2123.09	2123.09	2123.09
Peso Molde (gr)	6029.00	6029.00	6029.00	6029.00
Peso Molde + Suelo Compactado (gr)	10484.00	10715.00	10887.00	10873.00
Peso Suelo Compactado (gr)	4455.00	4686.00	4858.00	4844.00
Densidad Húmeda (gr/cm3)	2.10	2.21	2.29	2.28
Densidad Seca (gr/cm3)	2.03	2.10	2.14	2.10

Contenido de Humedad				
Descripción	Espécimen 01	Espécimen 02	Espécimen 03	Espécimen 04
Cápsula	T-16	T-20	T-7	C-1
Peso Cápsula (gr)	69.88	69.65	70.49	66.63
Peso de Muestra Húmeda + Cápsula (gr)	557.57	590.13	589.40	592.80
Peso de Muestra Seca + Cápsula (gr)	541.71	565.55	554.74	551.29
Peso Agua (gr)	15.86	24.58	34.66	41.51
Peso Muestra Seca (gr)	471.83	495.90	484.25	484.66
Contenido de Humedad (%)	3.36%	4.96%	7.16%	8.56%

Curva de Compactación

Contenido de humedad óptimo (%)	6.72%	Máxima densidad seca (gr/cm3)	2.136
---------------------------------	-------	-------------------------------	-------

FORMATO PARA LA RECOLECCIÓN DE DATOS
UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL

TESIS: "EVALUACIÓN COMPARATIVA DEL DISEÑO DE UN PAVIMENTO RÍGIDO CON SUBBASE TRATADA CON MÍNIMA CANTIDAD DE CEMENTO Y UNA SIN TRATAR, UTILIZANDO MATERIAL DE LA CANTERA DE QUILLAHUATA Y APLICADO A TRÁFICO VARIADO"

ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO (MTC E 115)

Muestra: PM - 3

Densidad de la muestra				
Descripción	Espécimen 01	Espécimen 02	Espécimen 03	Espécimen 04
Molde	4	4	4	4
Volumen del Molde (cm3)	2123.09	2123.09	2123.09	2123.09
Peso Molde (gr)	6029.00	6029.00	6029.00	6029.00
Peso Molde + Suelo Compactado (gr)	10497.00	10744.00	10930.00	10848.00
Peso Suelo Compactado (gr)	4468.00	4715.00	4901.00	4819.00
Densidad Húmeda (gr/cm3)	2.10	2.22	2.31	2.27
Densidad Seca (gr/cm3)	2.03	2.11	2.13	2.07

Contenido de Humedad				
Descripción	Espécimen 01	Espécimen 02	Espécimen 03	Espécimen 04
Cápsula	T-1	B-2	D-1	A-2
Peso Cápsula (gr)	67.34	63.91	71.61	67.22
Peso de Muestra Húmeda + Cápsula (gr)	593.40	596.00	577.06	599.38
Peso de Muestra Seca + Cápsula (gr)	574.74	568.72	538.37	552.29
Peso Agua (gr)	18.66	27.28	38.69	47.09
Peso Muestra Seca (gr)	507.40	504.81	466.76	485.07
Contenido de Humedad (%)	3.68%	5.40%	8.29%	9.71%

Curva de Compactación

Contenido de humedad óptimo (%)	7.25%	Máxima densidad seca (gr/cm3)	2.143
---------------------------------	-------	-------------------------------	-------



FORMATO PARA LA RECOLECCIÓN DE DATOS
UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL

TESIS: "EVALUACIÓN COMPARATIVA DEL DISEÑO DE UN PAVIMENTO RÍGIDO CON SUBBASE TRATADA CON MÍNIMA CANTIDAD DE CEMENTO Y UNA SIN TRATAR, UTILIZANDO MATERIAL DE LA CANTERA DE QUILLAHUATA Y APLICADO A TRÁFICO VARIADO"

ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO (MTC E 115)

Muestra: PM - 4

Densidad de la muestra				
Descripción	Espécimen 01	Espécimen 02	Espécimen 03	Espécimen 04
Molde	4	4	4	4
Volumen del Molde (cm3)	2123.09	2123.09	2123.09	2123.09
Peso Molde (gr)	6029.00	6029.00	6029.00	6029.00
Peso Molde + Suelo Compactado (gr)	10495.00	10750.00	10905.00	10854.00
Peso Suelo Compactado (gr)	4466.00	4721.00	4876.00	4825.00
Densidad Húmeda (gr/cm3)	2.10	2.22	2.30	2.27
Densidad Seca (gr/cm3)	2.03	2.11	2.15	2.09

Contenido de Humedad				
Descripción	Espécimen 01	Espécimen 02	Espécimen 03	Espécimen 04
Cápsula	T-7	C-2	T-14	T-3
Peso Cápsula (gr)	70.48	61.46	65.61	67.91
Peso de Muestra Húmeda + Cápsula (gr)	589.43	587.99	593.56	599.01
Peso de Muestra Seca + Cápsula (gr)	572.09	561.40	558.74	555.95
Peso Agua (gr)	17.34	26.59	34.82	43.06
Peso Muestra Seca (gr)	501.61	499.94	493.13	488.04
Contenido de Humedad (%)	3.46%	5.32%	7.06%	8.82%

Curva de Compactación

Contenido de humedad óptimo (%)	7.10%	Máxima densidad seca (gr/cm3)	2.145
---------------------------------	-------	-------------------------------	-------

FORMATO PARA LA RECOLECCIÓN DE DATOS
UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL

TESIS: "EVALUACIÓN COMPARATIVA DEL DISEÑO DE UN PAVIMENTO RÍGIDO CON SUBBASE TRATADA CON MÍNIMA CANTIDAD DE CEMENTO Y UNA SIN TRATAR, UTILIZANDO MATERIAL DE LA CANTERA DE QUILLAHUATA Y APLICADO A TRÁFICO VARIADO"

ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO (MTC E 115)

Muestra: PM - 5

Densidad de la muestra				
Descripción	Espécimen 01	Espécimen 02	Espécimen 03	Espécimen 04
Molde	4	4	4	4
Volumen del Molde (cm3)	2123.09	2123.09	2123.09	2123.09
Peso Molde (gr)	6029.00	6029.00	6029.00	6029.00
Peso Molde + Suelo Compactado (gr)	10488.00	10718.00	10918.00	10873.00
Peso Suelo Compactado (gr)	4459.00	4689.00	4889.00	4844.00
Densidad Húmeda (gr/cm3)	2.10	2.21	2.30	2.28
Densidad Seca (gr/cm3)	2.03	2.10	2.15	2.10

Contenido de Humedad				
Descripción	Espécimen 01	Espécimen 02	Espécimen 03	Espécimen 04
Cápsula	T-17	T-5	T-16	T-6
Peso Cápsula (gr)	69.28	71.20	69.87	69.56
Peso de Muestra Húmeda + Cápsula (gr)	594.34	578.72	590.85	598.09
Peso de Muestra Seca + Cápsula (gr)	575.94	553.22	556.03	555.17
Peso Agua (gr)	18.40	25.50	34.82	42.92
Peso Muestra Seca (gr)	506.66	482.02	486.16	485.61
Contenido de Humedad (%)	3.63%	5.29%	7.16%	8.84%

Curva de Compactación

Contenido de humedad óptimo (%)	7.20%	Máxima densidad seca (gr/cm3)	2.148
---------------------------------	-------	-------------------------------	-------

FORMATO PARA LA RECOLECCIÓN DE DATOS
UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL

TESIS: "EVALUACIÓN COMPARATIVA DEL DISEÑO DE UN PAVIMENTO RÍGIDO CON SUBBASE TRATADA CON MÍNIMA CANTIDAD DE CEMENTO Y UNA SIN TRATAR, UTILIZANDO MATERIAL DE LA CANTERA DE QUILLAHUATA Y APLICADO A TRÁFICO VARIADO"

ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO (MTC E 115)

Muestra: PM - 6

Densidad de la muestra				
Descripción	Espécimen 01	Espécimen 02	Espécimen 03	Espécimen 04
Molde	4	4	4	4
Volumen del Molde (cm3)	2123.09	2123.09	2123.09	2123.09
Peso Molde (gr)	6029.00	6029.00	6029.00	6029.00
Peso Molde + Suelo Compactado (gr)	10526.00	10784.00	10933.00	10875.00
Peso Suelo Compactado (gr)	4497.00	4755.00	4904.00	4846.00
Densidad Húmeda (gr/cm3)	2.12	2.24	2.31	2.28
Densidad Seca (gr/cm3)	2.04	2.11	2.13	2.09

Contenido de Humedad				
Descripción	Espécimen 01	Espécimen 02	Espécimen 03	Espécimen 04
Cápsula	T-12	T-22	T-8	T-28
Peso Cápsula (gr)	70.54	67.57	66.60	65.97
Peso de Muestra Húmeda + Cápsula (gr)	590.56	583.24	594.04	596.04
Peso de Muestra Seca + Cápsula (gr)	571.45	553.87	553.71	551.33
Peso Agua (gr)	19.11	29.37	40.33	44.71
Peso Muestra Seca (gr)	500.91	486.30	487.11	485.36
Contenido de Humedad (%)	3.82%	6.04%	8.28%	9.21%

Curva de Compactación

Contenido de humedad óptimo (%)	7.60%	Máxima densidad seca (gr/cm3)	2.141
---------------------------------	-------	-------------------------------	-------



Anexo 6 – Hojas de cálculo del ensayo relación humedad-densidad (suelo cemento – 2%)

FORMATO PARA LA RECOLECCIÓN DE DATOS
UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL

TESIS: "EVALUACIÓN COMPARATIVA DEL DISEÑO DE UN PAVIMENTO RÍGIDO CON SUBBASE TRATADA CON MÍNIMA CANTIDAD DE CEMENTO Y UNA SIN TRATAR, UTILIZANDO MATERIAL DE LA CANTERA DE QUILLAHUATA Y APLICADO A TRÁFICO VARIADO"

FORMATO PARA LA RECOLECCIÓN DE DATOS
UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL

TESIS: "EVALUACIÓN COMPARATIVA DEL DISEÑO DE UN PAVIMENTO RÍGIDO CON SUBBASE TRATADA CON MÍNIMA CANTIDAD DE CEMENTO Y UNA SIN TRATAR, UTILIZANDO MATERIAL DE LA CANTERA DE QUILLAHUATA Y APLICADO A TRÁFICO VARIADO"

FORMATO PARA LA RECOLECCIÓN DE DATOS
UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL

TESIS: "EVALUACIÓN COMPARATIVA DEL DISEÑO DE UN PAVIMENTO RÍGIDO CON SUBBASE TRATADA CON MÍNIMA CANTIDAD DE CEMENTO Y UNA SIN TRATAR, UTILIZANDO MATERIAL DE LA CANTERA DE QUILLAHUATA Y APLICADO A TRÁFICO VARIADO"

ENSAYO DE RELACIONES HUMEDAD-DENSIDAD (SUELO-CEMENTO) (MTC E 1102)

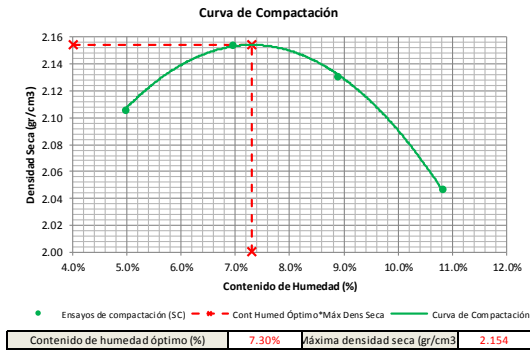
ENSAYO DE RELACIONES HUMEDAD-DENSIDAD (SUELO-CEMENTO) (MTC E 1102)

ENSAYO DE RELACIONES HUMEDAD-DENSIDAD (SUELO-CEMENTO) (MTC E 1102)

Muestra: RHD - 2 - 1

Densidad de la muestra				
Descripción	Espécimen 01	Espécimen 02	Espécimen 03	Espécimen 04
Molde	1	1	1	1
Volumen del Molde (cm ³)	942.18	942.18	942.18	942.18
Peso Molde (gr)	4172.00	4172.00	4172.00	4172.00
Peso Molde + Suelo Compactado (gr)	6255.00	6343.00	6358.00	6309.00
Peso Suelo Compactado (gr)	2083.00	2171.00	2186.00	2137.00
Densidad Húmeda (gr/cm ³)	2.21	2.30	2.32	2.27
Densidad Seca (gr/cm ³)	2.11	2.15	2.13	2.05

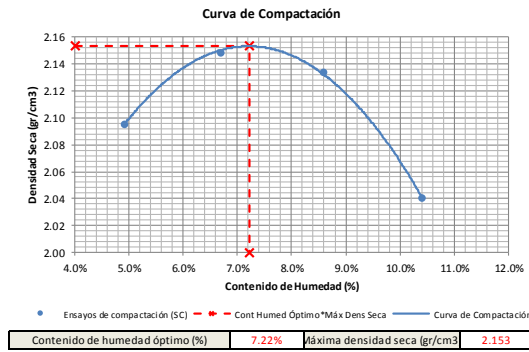
Contenido de Humedad				
Descripción	Espécimen 01	Espécimen 02	Espécimen 03	Espécimen 04
Cápsula	T-1	T-2	T-3	T-4
Peso Cápsula (gr)	67.23	67.76	67.80	67.79
Peso de Muestra Húmeda + Cápsula (gr)	560.28	560.21	563.07	569.58
Peso de Muestra Seca + Cápsula (gr)	536.93	528.22	522.67	520.58
Peso Agua (gr)	23.35	31.99	40.40	49.00
Peso Muestra Seca (gr)	469.70	460.46	454.87	452.79
Contenido de Humedad (%)	4.97%	6.95%	8.88%	10.82%



Muestra: RHD - 2 - 2

Densidad de la muestra				
Descripción	Espécimen 01	Espécimen 02	Espécimen 03	Espécimen 04
Molde	1	1	1	1
Volumen del Molde (cm ³)	942.18	942.18	942.18	942.18
Peso Molde (gr)	4172.00	4172.00	4172.00	4172.00
Peso Molde + Suelo Compactado (gr)	6243.00	6332.00	6355.00	6295.00
Peso Suelo Compactado (gr)	2071.00	2160.00	2183.00	2123.00
Densidad Húmeda (gr/cm ³)	2.20	2.29	2.32	2.25
Densidad Seca (gr/cm ³)	2.10	2.15	2.13	2.04

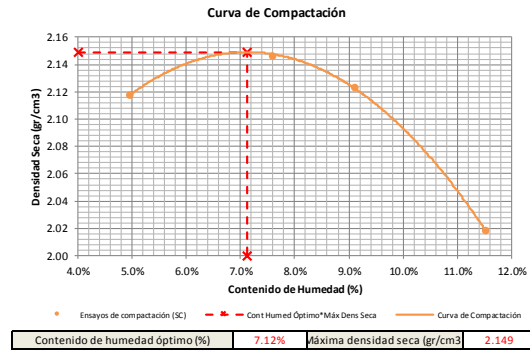
Contenido de Humedad				
Descripción	Espécimen 01	Espécimen 02	Espécimen 03	Espécimen 04
Cápsula	T-5	T-7	T-9	T-10
Peso Cápsula (gr)	71.26	70.54	69.35	69.89
Peso de Muestra Húmeda + Cápsula (gr)	560.02	567.36	570.54	567.13
Peso de Muestra Seca + Cápsula (gr)	537.16	536.23	530.91	520.28
Peso Agua (gr)	22.86	31.13	39.63	46.85
Peso Muestra Seca (gr)	465.90	465.69	461.56	450.39
Contenido de Humedad (%)	4.91%	6.68%	8.59%	10.40%



Muestra: RHD - 2 - 3

Densidad de la muestra				
Descripción	Espécimen 01	Espécimen 02	Espécimen 03	Espécimen 04
Molde	1	1	1	1
Volumen del Molde (cm ³)	942.18	942.18	942.18	942.18
Peso Molde (gr)	4172.00	4172.00	4172.00	4172.00
Peso Molde + Suelo Compactado (gr)	6266.00	6348.00	6355.00	6293.00
Peso Suelo Compactado (gr)	2094.00	2176.00	2183.00	2121.00
Densidad Húmeda (gr/cm ³)	2.22	2.31	2.32	2.25
Densidad Seca (gr/cm ³)	2.12	2.15	2.12	2.02

Contenido de Humedad				
Descripción	Espécimen 01	Espécimen 02	Espécimen 03	Espécimen 04
Cápsula	T-11	T-12	T-13	T-14
Peso Cápsula (gr)	72.30	70.40	67.12	65.48
Peso de Muestra Húmeda + Cápsula (gr)	561.18	580.38	579.34	568.34
Peso de Muestra Seca + Cápsula (gr)	538.12	544.42	536.62	516.41
Peso Agua (gr)	23.06	35.96	42.72	51.93
Peso Muestra Seca (gr)	465.82	474.02	469.50	450.93
Contenido de Humedad (%)	4.95%	7.59%	9.10%	11.52%





FORMATO PARA LA RECOLECCIÓN DE DATOS
 UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO
 FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

TESIS: "EVALUACIÓN COMPARATIVA DEL DISEÑO DE UN PAVIMENTO RÍGIDO CON SUBBASE TRATADA CON MÍNIMA CANTIDAD DE CEMENTO Y UNA SIN TRATAR, UTILIZANDO MATERIAL DE LA CANTERA DE QUILLAHUATA Y APLICADO A TRÁFICO VARIADO"

ENSAYO DE RELACIONES HUMEDAD-DENSIDAD (SUELO-CEMENTO) (MTC E 1102)

Muestra: RHD - 2 - 4

Densidad de la muestra				
Descripción	Especímen 01	Especímen 02	Especímen 03	Especímen 04
Molde	1	1	1	1
Volumen del Molde (cm ³)	942.18	942.18	942.18	942.18
Peso Molde (gr)	4172.00	4172.00	4172.00	4172.00
Peso Molde + Suelo Compactado (gr)	6245.00	6328.00	6341.00	6309.00
Peso Suelo Compactado (gr)	2073.00	2156.00	2169.00	2137.00
Densidad Húmeda (gr/cm ³)	2.20	2.29	2.30	2.27
Densidad Seca (gr/cm ³)	2.10	2.14	2.12	2.06

Contenido de Humedad				
Descripción	Especímen 01	Especímen 02	Especímen 03	Especímen 04
Cápsula	T-21	T-19	T-5	T-9
Peso Cápsula (gr)	66.64	66.05	71.19	69.30
Peso de Muestra Húmeda + Cápsula (gr)	579.41	568.71	573.02	576.60
Peso de Muestra Seca + Cápsula (gr)	556.26	536.16	532.40	529.85
Peso Agua (gr)	23.15	32.55	40.62	46.75
Peso Muestra Seca (gr)	489.62	470.11	461.21	460.55
Contenido de Humedad (%)	4.73%	6.92%	8.81%	10.15%

● Ensayos de compactación (SC)
 - - - Cont Humed Óptimo* Máx Dens Seca
 — Curva de Compactación

Contenido de humedad óptimo (%)	6.98%	Máxima densidad seca (gr/cm ³)	2.141
---------------------------------	-------	--	-------

FORMATO PARA LA RECOLECCIÓN DE DATOS
 UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO
 FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

TESIS: "EVALUACIÓN COMPARATIVA DEL DISEÑO DE UN PAVIMENTO RÍGIDO CON SUBBASE TRATADA CON MÍNIMA CANTIDAD DE CEMENTO Y UNA SIN TRATAR, UTILIZANDO MATERIAL DE LA CANTERA DE QUILLAHUATA Y APLICADO A TRÁFICO VARIADO"

ENSAYO DE RELACIONES HUMEDAD-DENSIDAD (SUELO-CEMENTO) (MTC E 1102)

Muestra: RHD - 2 - 5

Densidad de la muestra				
Descripción	Especímen 01	Especímen 02	Especímen 03	Especímen 04
Molde	1	1	1	1
Volumen del Molde (cm ³)	942.18	942.18	942.18	942.18
Peso Molde (gr)	4172.00	4172.00	4172.00	4172.00
Peso Molde + Suelo Compactado (gr)	6215.00	6324.00	6350.00	6316.00
Peso Suelo Compactado (gr)	2043.00	2152.00	2178.00	2144.00
Densidad Húmeda (gr/cm ³)	2.17	2.28	2.31	2.28
Densidad Seca (gr/cm ³)	2.07	2.15	2.15	2.08

Contenido de Humedad				
Descripción	Especímen 01	Especímen 02	Especímen 03	Especímen 04
Cápsula	D-1	T-27	T-25	T-15
Peso Cápsula (gr)	71.46	68.62	68.29	66.72
Peso de Muestra Húmeda + Cápsula (gr)	571.36	562.97	571.25	572.64
Peso de Muestra Seca + Cápsula (gr)	549.30	532.91	535.56	528.40
Peso Agua (gr)	22.06	30.06	35.69	44.24
Peso Muestra Seca (gr)	477.84	464.29	467.27	461.68
Contenido de Humedad (%)	4.62%	6.47%	7.64%	9.58%

● Ensayos de compactación de SC
 - - - Cont Humed Óptimo* Máx Dens Seca
 — Curva de Compactación

Contenido de humedad óptimo (%)	7.13%	Máxima densidad seca (gr/cm ³)	2.151
---------------------------------	-------	--	-------

FORMATO PARA LA RECOLECCIÓN DE DATOS
 UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO
 FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

TESIS: "EVALUACIÓN COMPARATIVA DEL DISEÑO DE UN PAVIMENTO RÍGIDO CON SUBBASE TRATADA CON MÍNIMA CANTIDAD DE CEMENTO Y UNA SIN TRATAR, UTILIZANDO MATERIAL DE LA CANTERA DE QUILLAHUATA Y APLICADO A TRÁFICO VARIADO"

ENSAYO DE RELACIONES HUMEDAD-DENSIDAD (SUELO-CEMENTO) (MTC E 1102)

Muestra: RHD - 2 - 6

Densidad de la muestra				
Descripción	Especímen 01	Especímen 02	Especímen 03	Especímen 04
Molde	1	1	1	1
Volumen del Molde (cm ³)	942.18	942.18	942.18	942.18
Peso Molde (gr)	4172.00	4172.00	4172.00	4172.00
Peso Molde + Suelo Compactado (gr)	6240.00	6333.00	6353.00	6310.00
Peso Suelo Compactado (gr)	2068.00	2161.00	2181.00	2138.00
Densidad Húmeda (gr/cm ³)	2.19	2.29	2.31	2.27
Densidad Seca (gr/cm ³)	2.09	2.15	2.14	2.06

Contenido de Humedad				
Descripción	Especímen 01	Especímen 02	Especímen 03	Especímen 04
Cápsula	T-8	C-1	T-26	T-2
Peso Cápsula (gr)	66.48	66.53	68.11	67.75
Peso de Muestra Húmeda + Cápsula (gr)	570.74	576.39	562.62	581.57
Peso de Muestra Seca + Cápsula (gr)	546.38	543.98	525.77	535.28
Peso Agua (gr)	24.36	32.41	36.85	46.29
Peso Muestra Seca (gr)	479.90	477.45	457.66	467.53
Contenido de Humedad (%)	5.08%	6.79%	8.05%	9.90%

● Ensayos de compactación de SC
 - - - Cont Humed Óptimo* Máx Dens Seca
 — Curva de Compactación

Contenido de humedad óptimo (%)	7.29%	Máxima densidad seca (gr/cm ³)	2.149
---------------------------------	-------	--	-------

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS



Anexo 7 – Hojas de cálculo del ensayo relación humedad-densidad (suelo cemento – 4%)

FORMATO PARA LA RECOLECCIÓN DE DATOS
UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL

TESIS: "EVALUACIÓN COMPARATIVA DEL DISEÑO DE UN PAVIMENTO RÍGIDO CON SUBBASE TRATADA CON MÍNIMA CANTIDAD DE CEMENTO Y UNA SIN TRATAR, UTILIZANDO MATERIAL DE LA CANTERA DE QUILLAHUATA Y APLICADO A TRÁFICO VARIADO"

FORMATO PARA LA RECOLECCIÓN DE DATOS
UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL

TESIS: "EVALUACIÓN COMPARATIVA DEL DISEÑO DE UN PAVIMENTO RÍGIDO CON SUBBASE TRATADA CON MÍNIMA CANTIDAD DE CEMENTO Y UNA SIN TRATAR, UTILIZANDO MATERIAL DE LA CANTERA DE QUILLAHUATA Y APLICADO A TRÁFICO VARIADO"

FORMATO PARA LA RECOLECCIÓN DE DATOS
UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL

TESIS: "EVALUACIÓN COMPARATIVA DEL DISEÑO DE UN PAVIMENTO RÍGIDO CON SUBBASE TRATADA CON MÍNIMA CANTIDAD DE CEMENTO Y UNA SIN TRATAR, UTILIZANDO MATERIAL DE LA CANTERA DE QUILLAHUATA Y APLICADO A TRÁFICO VARIADO"

ENSAYO DE RELACIONES HUMEDAD-DENSIDAD (SUELO-CEMENTO) (MTC E 1102)

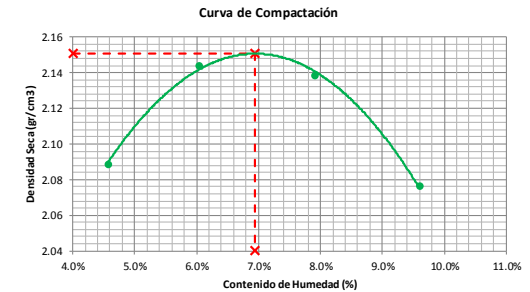
ENSAYO DE RELACIONES HUMEDAD-DENSIDAD (SUELO-CEMENTO) (MTC E 1102)

ENSAYO DE RELACIONES HUMEDAD-DENSIDAD (SUELO-CEMENTO) (MTC E 1102)

Muestra: RHD - 4 - 1

Densidad de la muestra				
Descripción	Espécimen 01	Espécimen 02	Espécimen 03	Espécimen 04
Molde	1	1	1	1
Volumen del Molde (cm ³)	942.18	942.18	942.18	942.18
Peso Molde (gr)	4172.00	4172.00	4172.00	4172.00
Peso Molde + Suelo Compactado (gr)	6230.00	6314.00	6346.00	6316.00
Peso Suelo Compactado (gr)	2058.00	2142.00	2174.00	2144.00
Densidad Húmeda (gr/cm ³)	2.18	2.27	2.31	2.28
Densidad Seca (gr/cm ³)	2.09	2.14	2.14	2.08

Contenido de Humedad				
Descripción	Espécimen 01	Espécimen 02	Espécimen 03	Espécimen 04
Cápsula	T-8	T-22	T-23	T-24
Peso Cápsula (gr)	66.63	67.44	69.09	65.87
Peso de Muestra Húmeda + Cápsula (gr)	564.22	580.35	561.13	569.01
Peso de Muestra Seca + Cápsula (gr)	542.47	551.19	525.11	524.96
Peso Agua (gr)	21.75	29.16	36.02	44.05
Peso Muestra Seca (gr)	475.84	483.75	456.02	459.09
Contenido de Humedad (%)	4.57%	6.03%	7.90%	9.60%

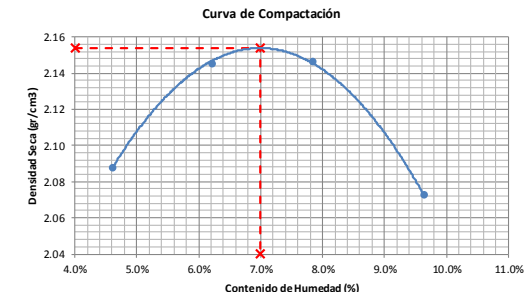


Contenido de humedad óptimo (%)	6.95%	Máxima densidad seca (gr/cm ³)	2.151
---------------------------------	-------	--	-------

Muestra: RHD - 4 - 2

Densidad de la muestra				
Descripción	Espécimen 01	Espécimen 02	Espécimen 03	Espécimen 04
Molde	1	1	1	1
Volumen del Molde (cm ³)	942.18	942.18	942.18	942.18
Peso Molde (gr)	4172.00	4172.00	4172.00	4172.00
Peso Molde + Suelo Compactado (gr)	6230.00	6319.00	6353.00	6313.00
Peso Suelo Compactado (gr)	2058.00	2147.00	2181.00	2141.00
Densidad Húmeda (gr/cm ³)	2.18	2.28	2.31	2.27
Densidad Seca (gr/cm ³)	2.09	2.15	2.15	2.07

Contenido de Humedad				
Descripción	Espécimen 01	Espécimen 02	Espécimen 03	Espécimen 04
Cápsula	D-1	A-1	T-3	T-6
Peso Cápsula (gr)	71.48	67.66	67.79	69.57
Peso de Muestra Húmeda + Cápsula (gr)	555.37	551.36	559.44	567.31
Peso de Muestra Seca + Cápsula (gr)	534.06	523.11	523.76	523.59
Peso Agua (gr)	21.31	28.25	35.68	43.72
Peso Muestra Seca (gr)	462.58	455.45	455.97	454.02
Contenido de Humedad (%)	4.61%	6.20%	7.83%	9.63%

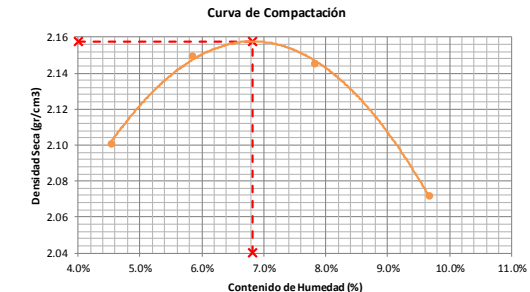


Contenido de humedad óptimo (%)	6.99%	Máxima densidad seca (gr/cm ³)	2.154
---------------------------------	-------	--	-------

Muestra: RHD - 4 - 3

Densidad de la muestra				
Descripción	Espécimen 01	Espécimen 02	Espécimen 03	Espécimen 04
Molde	1	1	1	1
Volumen del Molde (cm ³)	942.18	942.18	942.18	942.18
Peso Molde (gr)	4172.00	4172.00	4172.00	4172.00
Peso Molde + Suelo Compactado (gr)	6241.00	6316.00	6351.00	6313.00
Peso Suelo Compactado (gr)	2069.00	2144.00	2179.00	2141.00
Densidad Húmeda (gr/cm ³)	2.20	2.28	2.31	2.27
Densidad Seca (gr/cm ³)	2.10	2.15	2.15	2.07

Contenido de Humedad				
Descripción	Espécimen 01	Espécimen 02	Espécimen 03	Espécimen 04
Cápsula	B-1	T-11	C-2	C-1
Peso Cápsula (gr)	65.06	72.21	61.32	66.50
Peso de Muestra Húmeda + Cápsula (gr)	573.13	573.77	562.55	565.93
Peso de Muestra Seca + Cápsula (gr)	551.07	546.08	526.25	521.89
Peso Agua (gr)	22.06	27.69	36.30	44.04
Peso Muestra Seca (gr)	486.01	473.87	464.93	455.39
Contenido de Humedad (%)	4.54%	5.84%	7.81%	9.67%



Contenido de humedad óptimo (%)	6.83%	Máxima densidad seca (gr/cm ³)	2.158
---------------------------------	-------	--	-------



FORMATO PARA LA RECOLECCIÓN DE DATOS
UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

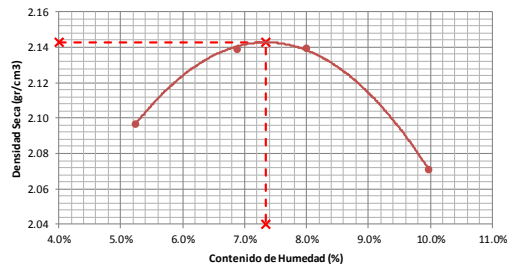
TESIS: "EVALUACIÓN COMPARATIVA DEL DISEÑO DE UN PAVIMENTO RÍGIDO CON SUBBASE TRATADA CON MÍNIMA CANTIDAD DE CEMENTO Y UNA SIN TRATAR, UTILIZANDO MATERIAL DE LA CANTERA DE QUILLAHUATA Y APLICADO A TRÁFICO VARIADO"

ENSAYO DE RELACIONES HUMEDAD-DENSIDAD (SUELO-CEMENTO) (MTC E 1102)

Muestra: RHD - 4 - 4

Densidad de la muestra				
Descripción	Espécimen 01	Espécimen 02	Espécimen 03	Espécimen 04
Molde	1	1	1	1
Volumen del Molde (cm ³)	942.18	942.18	942.18	942.18
Peso Molde (gr)	4172.00	4172.00	4172.00	4172.00
Peso Molde + Suelo Compactado (gr)	6251.00	6326.00	6349.00	6318.00
Peso Suelo Compactado (gr)	2079.00	2154.00	2177.00	2146.00
Densidad Húmeda (gr/cm ³)	2.21	2.29	2.31	2.28
Densidad Seca (gr/cm ³)	2.10	2.14	2.14	2.07
Contenido de Humedad				
Descripción	Espécimen 01	Espécimen 02	Espécimen 03	Espécimen 04
Cápsula	D-2	T-5	T-9	T-12
Peso Cápsula (gr)	66.12	71.00	69.10	70.35
Peso de Muestra Húmeda + Cápsula (gr)	564.09	566.95	563.11	564.39
Peso de Muestra Seca + Cápsula (gr)	539.31	535.06	526.55	519.63
Peso Agua (gr)	24.78	31.89	36.56	44.76
Peso Muestra Seca (gr)	473.19	464.06	457.45	449.28
Contenido de Humedad (%)	5.24%	6.87%	7.99%	9.96%

Curva de Compactación



Contenido de humedad óptimo (%)	7.35%	Máxima densidad seca (gr/cm ³)	2.143
---------------------------------	-------	--	-------

FORMATO PARA LA RECOLECCIÓN DE DATOS
UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

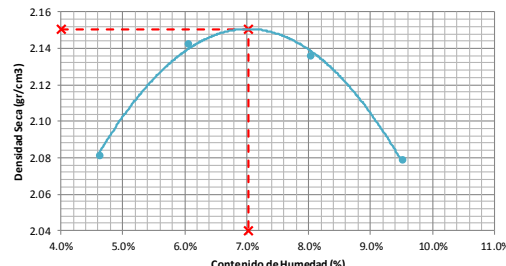
TESIS: "EVALUACIÓN COMPARATIVA DEL DISEÑO DE UN PAVIMENTO RÍGIDO CON SUBBASE TRATADA CON MÍNIMA CANTIDAD DE CEMENTO Y UNA SIN TRATAR, UTILIZANDO MATERIAL DE LA CANTERA DE QUILLAHUATA Y APLICADO A TRÁFICO VARIADO"

ENSAYO DE RELACIONES HUMEDAD-DENSIDAD (SUELO-CEMENTO) (MTC E 1102)

Muestra: RHD - 4 - 5

Densidad de la muestra				
Descripción	Espécimen 01	Espécimen 02	Espécimen 03	Espécimen 04
Molde	1	1	1	1
Volumen del Molde (cm ³)	942.18	942.18	942.18	942.18
Peso Molde (gr)	4172.00	4172.00	4172.00	4172.00
Peso Molde + Suelo Compactado (gr)	6224.00	6313.00	6346.00	6317.00
Peso Suelo Compactado (gr)	2052.00	2141.00	2174.00	2145.00
Densidad Húmeda (gr/cm ³)	2.18	2.27	2.31	2.28
Densidad Seca (gr/cm ³)	2.08	2.14	2.14	2.08
Contenido de Humedad				
Descripción	Espécimen 01	Espécimen 02	Espécimen 03	Espécimen 04
Cápsula	T-17	T-19	T-14	T-21
Peso Cápsula (gr)	69.10	65.86	65.39	66.51
Peso de Muestra Húmeda + Cápsula (gr)	556.97	558.57	564.60	578.76
Peso de Muestra Seca + Cápsula (gr)	535.41	530.43	527.54	534.28
Peso Agua (gr)	21.56	28.14	37.06	44.48
Peso Muestra Seca (gr)	466.31	464.57	462.15	467.77
Contenido de Humedad (%)	4.62%	6.06%	8.02%	9.51%

Curva de Compactación



Contenido de humedad óptimo (%)	7.02%	Máxima densidad seca (gr/cm ³)	2.151
---------------------------------	-------	--	-------

FORMATO PARA LA RECOLECCIÓN DE DATOS
UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

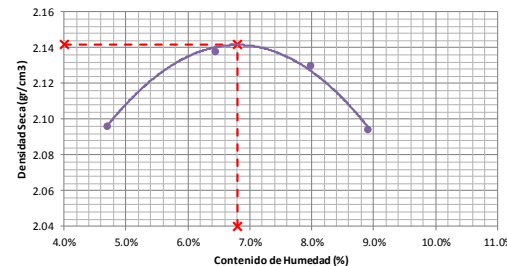
TESIS: "EVALUACIÓN COMPARATIVA DEL DISEÑO DE UN PAVIMENTO RÍGIDO CON SUBBASE TRATADA CON MÍNIMA CANTIDAD DE CEMENTO Y UNA SIN TRATAR, UTILIZANDO MATERIAL DE LA CANTERA DE QUILLAHUATA Y APLICADO A TRÁFICO VARIADO"

ENSAYO DE RELACIONES HUMEDAD-DENSIDAD (SUELO-CEMENTO) (MTC E 1102)

Muestra: RHD - 4 - 6

Densidad de la muestra				
Descripción	Espécimen 01	Espécimen 02	Espécimen 03	Espécimen 04
Molde	1	1	1	1
Volumen del Molde (cm ³)	942.18	942.18	942.18	942.18
Peso Molde (gr)	4172.00	4172.00	4172.00	4172.00
Peso Molde + Suelo Compactado (gr)	6240.00	6316.00	6339.00	6321.00
Peso Suelo Compactado (gr)	2068.00	2144.00	2167.00	2149.00
Densidad Húmeda (gr/cm ³)	2.19	2.28	2.30	2.28
Densidad Seca (gr/cm ³)	2.10	2.14	2.13	2.09
Contenido de Humedad				
Descripción	Espécimen 01	Espécimen 02	Espécimen 03	Espécimen 04
Cápsula	T-20	T-2	T-13	T-16
Peso Cápsula (gr)	69.62	67.83	67.17	69.98
Peso de Muestra Húmeda + Cápsula (gr)	562.49	557.99	563.08	578.87
Peso de Muestra Seca + Cápsula (gr)	540.40	528.39	526.47	537.25
Peso Agua (gr)	22.09	29.60	36.61	41.62
Peso Muestra Seca (gr)	470.78	460.56	459.30	467.27
Contenido de Humedad (%)	4.69%	6.43%	7.97%	8.91%

Curva de Compactación



Contenido de humedad óptimo (%)	6.80%	Máxima densidad seca (gr/cm ³)	2.142
---------------------------------	-------	--	-------



Anexo 8 – Hojas de cálculo del ensayo relación humedad-densidad (suelo cemento – 6%)

FORMATO PARA LA RECOLECCIÓN DE DATOS
UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL

TESIS: "EVALUACIÓN COMPARATIVA DEL DISEÑO DE UN PAVIMENTO RÍGIDO CON SUBBASE TRATADA CON MÍNIMA CANTIDAD DE CEMENTO Y UNA SIN TRATAR, UTILIZANDO MATERIAL DE LA CANTERA DE QUILLAHUATA Y APLICADO A TRÁFICO VARIADO"

FORMATO PARA LA RECOLECCIÓN DE DATOS
UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL

TESIS: "EVALUACIÓN COMPARATIVA DEL DISEÑO DE UN PAVIMENTO RÍGIDO CON SUBBASE TRATADA CON MÍNIMA CANTIDAD DE CEMENTO Y UNA SIN TRATAR, UTILIZANDO MATERIAL DE LA CANTERA DE QUILLAHUATA Y APLICADO A TRÁFICO VARIADO"

FORMATO PARA LA RECOLECCIÓN DE DATOS
UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL

TESIS: "EVALUACIÓN COMPARATIVA DEL DISEÑO DE UN PAVIMENTO RÍGIDO CON SUBBASE TRATADA CON MÍNIMA CANTIDAD DE CEMENTO Y UNA SIN TRATAR, UTILIZANDO MATERIAL DE LA CANTERA DE QUILLAHUATA Y APLICADO A TRÁFICO VARIADO"

ENSAYO DE RELACIONES HUMEDAD-DENSIDAD (SUELO-CEMENTO) (MTC E 1102)

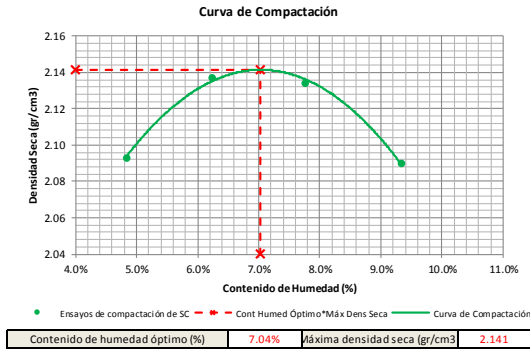
ENSAYO DE RELACIONES HUMEDAD-DENSIDAD (SUELO-CEMENTO) (MTC E 1102)

ENSAYO DE RELACIONES HUMEDAD-DENSIDAD (SUELO-CEMENTO) (MTC E 1102)

Muestra: RHD - 6 - 1

Densidad de la muestra				
Descripción	Espécimen 01	Espécimen 02	Espécimen 03	Espécimen 04
Molde	1	1	1	1
Volumen del Molde (cm ³)	942.18	942.18	942.18	942.18
Peso Molde (gr)	4172.00	4172.00	4172.00	4172.00
Peso Molde + Suelo Compactado (gr)	6239.00	6311.00	6339.00	6325.00
Peso Suelo Compactado (gr)	2067.00	2139.00	2167.00	2153.00
Densidad Húmeda (gr/cm ³)	2.19	2.27	2.30	2.29
Densidad Seca (gr/cm ³)	2.09	2.14	2.13	2.09

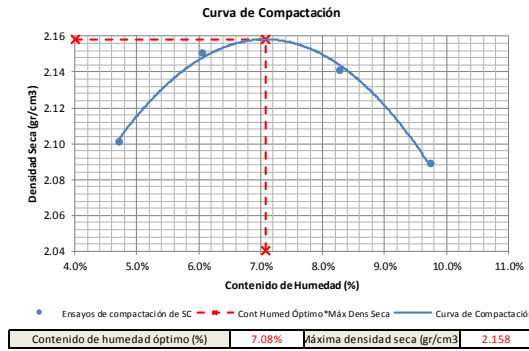
Contenido de Humedad				
Descripción	Espécimen 01	Espécimen 02	Espécimen 03	Espécimen 04
Cápsula	T-1	B-2	A-2	T-4
Peso Cápsula (gr)	67.30	63.88	67.19	67.85
Peso de Muestra Húmeda + Cápsula (gr)	566.88	572.24	574.45	574.21
Peso de Muestra Seca + Cápsula (gr)	543.87	542.42	537.94	530.98
Peso Agua (gr)	23.01	29.82	36.51	43.23
Peso Muestra Seca (gr)	476.57	478.54	470.75	463.13
Contenido de Humedad (%)	4.83%	6.23%	7.76%	9.33%



Muestra: RHD - 6 - 2

Densidad de la muestra				
Descripción	Espécimen 01	Espécimen 02	Espécimen 03	Espécimen 04
Molde	1	1	1	1
Volumen del Molde (cm ³)	942.18	942.18	942.18	942.18
Peso Molde (gr)	4172.00	4172.00	4172.00	4172.00
Peso Molde + Suelo Compactado (gr)	6245.00	6321.00	6356.00	6332.00
Peso Suelo Compactado (gr)	2073.00	2149.00	2184.00	2160.00
Densidad Húmeda (gr/cm ³)	2.20	2.28	2.32	2.29
Densidad Seca (gr/cm ³)	2.10	2.15	2.14	2.09

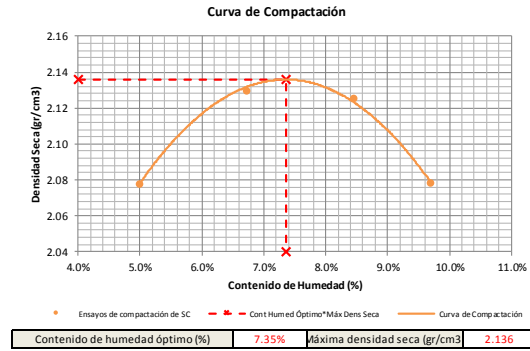
Contenido de Humedad				
Descripción	Espécimen 01	Espécimen 02	Espécimen 03	Espécimen 04
Cápsula	T-18	T-7	T-10	T-15
Peso Cápsula (gr)	68.83	70.45	69.81	66.82
Peso de Muestra Húmeda + Cápsula (gr)	568.37	572.12	569.98	571.00
Peso de Muestra Seca + Cápsula (gr)	545.89	543.52	531.76	526.27
Peso Agua (gr)	22.48	28.60	38.22	44.73
Peso Muestra Seca (gr)	477.06	473.07	461.95	459.45
Contenido de Humedad (%)	4.71%	6.05%	8.27%	9.74%



Muestra: RHD - 6 - 3

Densidad de la muestra				
Descripción	Espécimen 01	Espécimen 02	Espécimen 03	Espécimen 04
Molde	1	1	1	1
Volumen del Molde (cm ³)	942.18	942.18	942.18	942.18
Peso Molde (gr)	4172.00	4172.00	4172.00	4172.00
Peso Molde + Suelo Compactado (gr)	6227.00	6313.00	6344.00	6320.00
Peso Suelo Compactado (gr)	2055.00	2141.00	2172.00	2148.00
Densidad Húmeda (gr/cm ³)	2.18	2.27	2.31	2.28
Densidad Seca (gr/cm ³)	2.08	2.13	2.13	2.08

Contenido de Humedad				
Descripción	Espécimen 01	Espécimen 02	Espécimen 03	Espécimen 04
Cápsula	A-1	T-3	T-23	T-6
Peso Cápsula (gr)	67.81	67.91	69.21	69.55
Peso de Muestra Húmeda + Cápsula (gr)	569.83	568.80	569.35	566.89
Peso de Muestra Seca + Cápsula (gr)	546.03	537.32	530.38	523.01
Peso Agua (gr)	23.80	31.48	38.97	43.88
Peso Muestra Seca (gr)	478.22	469.41	461.17	453.46
Contenido de Humedad (%)	4.98%	6.71%	8.45%	9.68%





FORMATO PARA LA RECOLECCIÓN DE DATOS

UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

TESIS: "EVALUACIÓN COMPARATIVA DEL DISEÑO DE UN PAVIMENTO RÍGIDO CON SUBBASE TRATADA CON MÍNIMA CANTIDAD DE CEMENTO Y UNA SIN TRATAR, UTILIZANDO MATERIAL DE LA CANTERA DE QUILLAHUATA Y APLICADO A TRÁFICO VARIADO"

ENSAYO DE RELACIONES HUMEDAD-DENSIDAD (SUELO-CEMENTO) (MTC E 1102)

Muestra: RHD - 6 - 4

Densidad de la muestra				
Descripción	Espécimen 01	Espécimen 02	Espécimen 03	Espécimen 04
Molde	1	1	1	1
Volumen del Molde (cm ³)	942.18	942.18	942.18	942.18
Peso Molde (gr)	4172.00	4172.00	4172.00	4172.00
Peso Molde + Suelo Compactado (gr)	6244.00	6319.00	6343.00	6340.00
Peso Suelo Compactado (gr)	2072.00	2147.00	2171.00	2168.00
Densidad Húmeda (gr/cm ³)	2.20	2.28	2.30	2.30
Densidad Seca (gr/cm ³)	2.10	2.14	2.13	2.11

Contenido de Humedad				
Descripción	Espécimen 01	Espécimen 02	Espécimen 03	Espécimen 04
Cápsula	T-20	T-2	T-13	T-16
Peso Cápsula (gr)	69.62	67.83	67.17	69.98
Peso de Muestra Húmeda + Cápsula (gr)	562.49	557.99	564.22	578.87
Peso de Muestra Seca + Cápsula (gr)	540.40	528.39	526.47	537.25
Peso Agua (gr)	22.09	29.60	37.75	41.62
Peso Muestra Seca (gr)	470.78	460.56	459.30	467.27
Contenido de Humedad (%)	4.69%	6.43%	8.22%	8.91%

Curva de Compactación

● Ensayos de compactación (SC)
— Cont Humed Óptimo* Máx Dens Seca
— Curva de Compactación

Contenido de humedad óptimo (%)	6.97%	Máxima densidad seca (gr/cm ³)	2.143
---------------------------------	-------	--	-------

FORMATO PARA LA RECOLECCIÓN DE DATOS

UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

TESIS: "EVALUACIÓN COMPARATIVA DEL DISEÑO DE UN PAVIMENTO RÍGIDO CON SUBBASE TRATADA CON MÍNIMA CANTIDAD DE CEMENTO Y UNA SIN TRATAR, UTILIZANDO MATERIAL DE LA CANTERA DE QUILLAHUATA Y APLICADO A TRÁFICO VARIADO"

ENSAYO DE RELACIONES HUMEDAD-DENSIDAD (SUELO-CEMENTO) (MTC E 1102)

Muestra: RHD - 6 - 5

Densidad de la muestra				
Descripción	Espécimen 01	Espécimen 02	Espécimen 03	Espécimen 04
Molde	1	1	1	1
Volumen del Molde (cm ³)	942.18	942.18	942.18	942.18
Peso Molde (gr)	4172.00	4172.00	4172.00	4172.00
Peso Molde + Suelo Compactado (gr)	6251.00	6329.00	6360.00	6337.00
Peso Suelo Compactado (gr)	2079.00	2157.00	2188.00	2165.00
Densidad Húmeda (gr/cm ³)	2.21	2.29	2.32	2.30
Densidad Seca (gr/cm ³)	2.10	2.15	2.15	2.10

Contenido de Humedad				
Descripción	Espécimen 01	Espécimen 02	Espécimen 03	Espécimen 04
Cápsula	D-2	T-12	T-17	T-14
Peso Cápsula (gr)	66.29	70.54	69.28	65.61
Peso de Muestra Húmeda + Cápsula (gr)	580.14	573.76	579.98	579.27
Peso de Muestra Seca + Cápsula (gr)	556.43	543.86	541.28	534.06
Peso Agua (gr)	23.71	29.90	38.70	45.21
Peso Muestra Seca (gr)	490.14	473.32	472.00	468.45
Contenido de Humedad (%)	4.84%	6.32%	8.20%	9.65%

Curva de Compactación

● Ensayos de compactación de SC
— Cont Humed Óptimo* Máx Dens Seca
— Curva de Compactación

Contenido de humedad óptimo (%)	7.14%	Máxima densidad seca (gr/cm ³)	2.159
---------------------------------	-------	--	-------

FORMATO PARA LA RECOLECCIÓN DE DATOS

UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

TESIS: "EVALUACIÓN COMPARATIVA DEL DISEÑO DE UN PAVIMENTO RÍGIDO CON SUBBASE TRATADA CON MÍNIMA CANTIDAD DE CEMENTO Y UNA SIN TRATAR, UTILIZANDO MATERIAL DE LA CANTERA DE QUILLAHUATA Y APLICADO A TRÁFICO VARIADO"

ENSAYO DE RELACIONES HUMEDAD-DENSIDAD (SUELO-CEMENTO) (MTC E 1102)

Muestra: RHD - 6 - 6

Densidad de la muestra				
Descripción	Espécimen 01	Espécimen 02	Espécimen 03	Espécimen 04
Molde	1	1	1	1
Volumen del Molde (cm ³)	942.18	942.18	942.18	942.18
Peso Molde (gr)	4172.00	4172.00	4172.00	4172.00
Peso Molde + Suelo Compactado (gr)	6245.00	6310.00	6334.00	6327.00
Peso Suelo Compactado (gr)	2073.00	2138.00	2162.00	2155.00
Densidad Húmeda (gr/cm ³)	2.20	2.27	2.29	2.29
Densidad Seca (gr/cm ³)	2.10	2.14	2.14	2.10

Contenido de Humedad				
Descripción	Espécimen 01	Espécimen 02	Espécimen 03	Espécimen 04
Cápsula	T-27	T-25	T-28	D-1
Peso Cápsula (gr)	68.74	68.40	65.95	71.60
Peso de Muestra Húmeda + Cápsula (gr)	580.89	562.24	565.25	570.70
Peso de Muestra Seca + Cápsula (gr)	558.59	533.85	531.07	530.62
Peso Agua (gr)	22.30	28.39	34.18	40.08
Peso Muestra Seca (gr)	489.85	465.45	465.12	459.02
Contenido de Humedad (%)	4.55%	6.10%	7.35%	8.73%

Curva de Compactación

● Ensayos de compactación de SC
— Cont Humed Óptimo* Máx Dens Seca
— Curva de Compactación

Contenido de humedad óptimo (%)	6.63%	Máxima densidad seca (gr/cm ³)	2.142
---------------------------------	-------	--	-------

DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS

Anexo 9 – Hoja de cálculo de la elaboración de testigos de suelo cemento para determinar el mínimo contenido de cemento

FORMATO PARA LA RECOLECCIÓN DE DATOS UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL						
TESIS: "EVALUACIÓN COMPARATIVA DEL DISEÑO DE UN PAVIMENTO RÍGIDO CON SUBBASE TRATADA CON MÍNIMA CANTIDAD DE CEMENTO Y UNA SIN TRATAR, UTILIZANDO MATERIAL DE LA CANTERA DE QUILLAHUATA Y APLICADO A TRÁFICO VARIADO"						
ELABORACIÓN DE TESTIGOS DE SUELO CEMENTO (ASTM D1632 - ASTM D559)						
PORCENTAJE DE CEMENTO: 2%						
Densidad de la muestra						
Máxima densidad seca (gr/cm3)	2.150			Contenido de humedad óptimo		7.17%
Muestra	RHD - 2 - 1	RHD - 2 - 2	RHD - 2 - 3	RHD - 2 - 4	RHD - 2 - 5	RHD - 2 - 6
Molde	1	1	1	1	1	1
Volúmen del Molde (cm3)	942.18	942.18	942.18	942.18	942.18	942.18
Peso Molde (gr)	4172.00	4172.00	4172.00	4172.00	4172.00	4172.00
Peso Molde + Suelo Compactado (gr)	6349.00	6339.00	6343.00	6346.00	6342.00	6350.00
Peso Suelo Compactado (gr)	2177.00	2167.00	2171.00	2174.00	2170.00	2178.00
Densidad Húmeda (gr/cm3)	2.31	2.30	2.30	2.31	2.30	2.31
Densidad Seca (gr/cm3)	2.15	2.15	2.15	2.15	2.15	2.15
Grado de compactación (%)	100.12%	100.06%	100.24%	100.19%	100.09%	100.09%
Contenido de Humedad						
Cápsula	T-26	T-25	T-15	T-8	T-13	T-17
Peso Cápsula (gr)	68.22	68.42	66.86	66.58	67.05	69.28
Peso de Muestra Húmeda + Cápsula (gr)	574.56	581.26	566.12	580.19	571.94	587.25
Peso de Muestra Seca + Cápsula (gr)	539.85	548.04	533.73	546.00	538.73	551.36
Peso Agua (gr)	34.71	33.22	32.39	34.19	33.21	35.89
Peso Muestra Seca (gr)	471.63	479.62	466.87	479.42	471.68	482.08
Contenido de Humedad (%)	7.36%	6.93%	6.94%	7.13%	7.04%	7.44%
Diferencia en base al de diseño	0.19%	-0.25%	-0.23%	-0.04%	-0.13%	0.27%
PORCENTAJE DE CEMENTO: 4%						
Densidad de la muestra						
Máxima densidad seca (gr/cm3)	2.150			Contenido de humedad óptimo		6.99%
Muestra	RHD - 4 - 1	RHD - 4 - 2	RHD - 4 - 3	RHD - 4 - 4	RHD - 4 - 5	RHD - 4 - 6
Molde	1	1	1	1	1	1
Volúmen del Molde (cm3)	942.18	942.18	942.18	942.18	942.18	942.18
Peso Molde (gr)	4172.00	4172.00	4172.00	4172.00	4172.00	4172.00
Peso Molde + Suelo Compactado (gr)	6341.00	6334.00	6347.00	6343.00	6344.00	6343.00
Peso Suelo Compactado (gr)	2169.00	2162.00	2175.00	2171.00	2172.00	2171.00
Densidad Húmeda (gr/cm3)	2.30	2.29	2.31	2.30	2.31	2.30
Densidad Seca (gr/cm3)	2.15	2.15	2.15	2.15	2.15	2.15
Grado de compactación (%)	99.90%	99.95%	100.15%	100.03%	100.13%	100.11%
Contenido de Humedad						
Cápsula	T-22	T-9	T-28	T-19	T-2	D-2
Peso Cápsula (gr)	67.57	69.30	65.98	66.05	67.86	66.31
Peso de Muestra Húmeda + Cápsula (gr)	582.82	576.58	569.39	584.55	588.20	588.62
Peso de Muestra Seca + Cápsula (gr)	548.21	544.26	535.42	549.87	553.67	554.08
Peso Agua (gr)	34.61	32.32	33.97	34.68	34.53	34.54
Peso Muestra Seca (gr)	480.64	474.96	469.44	483.82	485.81	487.77
Contenido de Humedad (%)	7.20%	6.80%	7.24%	7.17%	7.11%	7.08%
Diferencia en base al de diseño	0.21%	-0.18%	0.25%	0.18%	0.12%	0.09%
PORCENTAJE DE CEMENTO: 6%						
Densidad de la muestra						
Máxima densidad seca (gr/cm3)	2.147			Contenido de humedad óptimo		7.03%
Muestra	RHD - 6 - 1	RHD - 6 - 2	RHD - 6 - 3	RHD - 6 - 4	RHD - 6 - 5	RHD - 6 - 6
Molde	1	1	1	1	1	1
Volúmen del Molde (cm3)	942.18	942.18	942.18	942.18	942.18	942.18
Peso Molde (gr)	4172.00	4172.00	4172.00	4172.00	4172.00	4172.00
Peso Molde + Suelo Compactado (gr)	6339.00	6338.00	6332.00	6337.00	6339.00	6338.00
Peso Suelo Compactado (gr)	2167.00	2166.00	2160.00	2165.00	2167.00	2166.00
Densidad Húmeda (gr/cm3)	2.30	2.30	2.29	2.30	2.30	2.30
Densidad Seca (gr/cm3)	2.15	2.15	2.15	2.15	2.15	2.14
Grado de compactación (%)	99.93%	99.97%	99.95%	100.12%	100.19%	99.81%
Contenido de Humedad						
Cápsula	T-13	T-4	T-27	T-5	T-12	T-24
Peso Cápsula (gr)	67.04	67.89	68.76	71.21	70.53	65.98
Peso de Muestra Húmeda + Cápsula (gr)	566.87	567.73	568.56	571.05	570.42	565.75
Peso de Muestra Seca + Cápsula (gr)	533.20	534.43	536.47	538.68	537.94	531.72
Peso Agua (gr)	33.67	33.30	32.09	32.37	32.48	34.03
Peso Muestra Seca (gr)	466.16	466.54	467.71	467.47	467.41	465.74
Contenido de Humedad (%)	7.22%	7.14%	6.86%	6.92%	6.95%	7.31%
Diferencia en base al de diseño	0.19%	0.10%	-0.17%	-0.11%	-0.09%	0.27%

Anexo 10 – Hoja de cálculo del ensayo de resistencia a la compresión de testigos de suelo cemento para determinar el mínimo contenido de cemento

	FORMATO PARA LA RECOLECCIÓN DE DATOS UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL							
TESIS: "EVALUACIÓN COMPARATIVA DEL DISEÑO DE UN PAVIMENTO RÍGIDO CON SUBBASE TRATADA CON MÍNIMA CANTIDAD DE CEMENTO Y UNA SIN TRATAR, UTILIZANDO MATERIAL DE LA CANTERA DE QUILLAHUATA Y APLICADO A TRÁFICO VARIADO"								
ENSAYO DE COMPRESIÓN DE TESTIGOS DE SUELO CEMENTO (MTC E 1103)								
2% DE CEMENTO								
Especimen	Diámetro Superior		Diámetro Inferior		Altura		Carga de Rotura (kg)	Resist. Compresión (kg/cm ²)
	1 (cm)	2 (cm)	1 (cm)	2 (cm)	1 (cm)	2 (cm)		
TSC - 2 - 1	10.18	10.17	10.16	10.15	11.66	11.67	1070	12.0
TSC - 2 - 2	10.18	10.17	10.16	10.15	11.66	11.67	990	11.1
TSC - 2 - 3	10.17	10.17	10.17	10.16	11.64	11.66	970	10.9
TSC - 2 - 4	10.16	10.17	10.16	10.16	11.69	11.68	980	11.0
TSC - 2 - 5	10.16	10.17	10.16	10.17	11.67	11.68	1100	12.3
TSC - 2 - 6	10.17	10.16	10.16	10.17	11.67	11.69	1150	12.9
Promedio								11.7
4% DE CEMENTO								
Especimen	Diámetro Superior		Diámetro Inferior		Altura		Carga de Rotura (kg)	Resist. Compresión (kg/cm ²)
	1 (cm)	2 (cm)	1 (cm)	2 (cm)	1 (cm)	2 (cm)		
TSC - 4 - 1	10.17	10.17	10.16	10.17	11.66	11.67	2100	23.5
TSC - 4 - 2	10.17	10.17	10.16	10.17	11.67	11.69	1820	20.4
TSC - 4 - 3	10.17	10.16	10.18	10.17	11.67	11.68	2040	22.8
TSC - 4 - 4	10.16	10.17	10.18	10.18	11.69	11.68	1990	22.3
TSC - 4 - 5	10.17	10.16	10.17	10.16	11.68	11.67	1970	22.1
TSC - 4 - 6	10.17	10.17	10.16	10.18	11.68	11.69	1870	20.9
Promedio								22.0
6% DE CEMENTO								
Especimen	Diámetro Superior		Diámetro Inferior		Altura		Carga de Rotura (kg)	Resist. Compresión (kg/cm ²)
	1 (cm)	2 (cm)	1 (cm)	2 (cm)	1 (cm)	2 (cm)		
TSC - 6 - 1	10.17	10.16	10.16	10.16	11.66	11.65	3060	34.3
TSC - 6 - 2	10.16	10.16	10.15	10.16	11.67	11.68	3020	33.9
TSC - 6 - 3	10.17	10.16	10.18	10.17	11.67	11.66	2910	32.6
TSC - 6 - 4	10.16	10.17	10.17	10.17	11.69	11.67	3000	33.6
TSC - 6 - 5	10.17	10.16	10.17	10.16	11.70	11.71	3050	34.2
TSC - 6 - 6	10.17	10.17	10.16	10.17	11.68	11.69	3110	34.8
Promedio								33.9

Resistencia a la compresión vs % de Cemento

• Resist. Compresión a diferentes % de Cemento
 — Línea de tendencia

Anexo 11 – Hoja de cálculo de la elaboración de testigos de suelo cemento para análisis de sensibilidad por humedad de compactación

FORMATO PARA LA RECOLECCIÓN DE DATOS						
UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL						
TESIS: "EVALUACIÓN COMPARATIVA DEL DISEÑO DE UN PAVIMENTO RÍGIDO CON SUBBASE TRATADA CON MÍNIMA CANTIDAD DE CEMENTO Y UNA SIN TRATAR, UTILIZANDO MATERIAL DE LA CANTERA DE QUILLAHUATA Y APLICADO A TRÁFICO VARIADO"						
ELABORACIÓN DE TESTIGOS PARA ANÁLISIS POR HUMEDAD DE COMPACTACIÓN (ASTM D1632 - ASTM D559)						
CONTENIDO DE HUMEDAD: -1.0% DEL ÓPTIMO						
Densidad de la muestra						
Máxima densidad seca (gr/cm3)	2.15			Contenido de humedad óptimo		6.00%
Muestra	TSC - OP-1 - 1	TSC - OP-1 - 2	TSC - OP-1 - 3	TSC - OP-1 - 4	TSC - OP-1 - 5	TSC - OP-1 - 6
Molde	1	1	1	1	1	1
Volúmen del Molde (cm3)	942.18	942.18	942.18	942.18	942.18	942.18
Peso Molde (gr)	4172.00	4172.00	4172.00	4172.00	4172.00	4172.00
Peso Molde + Suelo Compactado (gr)	6309.00	6305.00	6298.00	6299.00	6308.00	6302.00
Peso Suelo Compactado (gr)	2137.00	2133.00	2126.00	2127.00	2136.00	2130.00
Densidad Húmeda (gr/cm3)	2.27	2.26	2.26	2.26	2.27	2.26
Densidad Seca (gr/cm3)	2.137	2.135	2.132	2.132	2.138	2.134
Grado de compactación (%)	99.42%	99.28%	99.18%	99.18%	99.44%	99.27%
Contenido de Humedad						
Cápsula	T-13	T-28	T-16	D-2	T-24	T-5
Peso Cápsula (gr)	66.93	65.92	69.77	66.18	65.89	71.08
Peso de Muestra Húmeda + Cápsula (gr)	566.91	565.90	569.65	565.88	565.90	572.04
Peso de Muestra Seca + Cápsula (gr)	538.11	537.34	542.16	538.16	537.41	544.03
Peso Agua (gr)	28.80	28.56	27.49	27.72	28.49	28.01
Peso Muestra Seca (gr)	471.18	471.42	472.39	471.98	471.52	472.95
Contenido de Humedad (%)	6.11%	6.06%	5.82%	5.87%	6.04%	5.92%
Diferencia en base al de diseño	0.11%	0.06%	-0.18%	-0.13%	0.04%	-0.08%
CONTENIDO DE HUMEDAD: EL ÓPTIMO						
Densidad de la muestra						
Máxima densidad seca (gr/cm3)	2.15			Contenido de humedad óptimo		7.00%
Muestra	TSC - OP+0 - 1	TSC - OP+0 - 2	TSC - OP+0 - 3	TSC - OP+0 - 4	TSC - OP+0 - 5	TSC - OP+0 - 6
Molde	1	1	1	1	1	1
Volúmen del Molde (cm3)	942.18	942.18	942.18	942.18	942.18	942.18
Peso Molde (gr)	4172.00	4172.00	4172.00	4172.00	4172.00	4172.00
Peso Molde + Suelo Compactado (gr)	6335.00	6339.00	6338.00	6340.00	6342.00	6340.00
Peso Suelo Compactado (gr)	2163.00	2167.00	2166.00	2168.00	2170.00	2168.00
Densidad Húmeda (gr/cm3)	2.30	2.30	2.30	2.30	2.30	2.30
Densidad Seca (gr/cm3)	2.148	2.148	2.149	2.147	2.153	2.148
Grado de compactación (%)	99.93%	99.92%	99.95%	99.86%	100.12%	99.93%
Contenido de Humedad						
Cápsula	T-18	C-2	D-1	T-2	A-2	T-21
Peso Cápsula (gr)	68.75	61.37	71.50	67.74	67.11	66.54
Peso de Muestra Húmeda + Cápsula (gr)	568.50	561.15	571.48	567.50	567.20	566.35
Peso de Muestra Seca + Cápsula (gr)	536.44	528.21	538.86	534.04	534.52	533.20
Peso Agua (gr)	32.06	32.94	32.62	33.46	32.68	33.15
Peso Muestra Seca (gr)	467.69	466.84	467.36	466.30	467.41	466.66
Contenido de Humedad (%)	6.85%	7.06%	6.98%	7.18%	6.99%	7.10%
Diferencia en base al de diseño	-0.15%	0.06%	-0.02%	0.18%	-0.01%	0.10%
CONTENIDO DE HUMEDAD: +1.0% DEL ÓPTIMO						
Densidad de la muestra						
Máxima densidad seca (gr/cm3)	2.15			Contenido de humedad óptimo		8.00%
Muestra	TSC - OP+1 - 1	TSC - OP+1 - 2	TSC - OP+1 - 3	TSC - OP+1 - 4	TSC - OP+1 - 5	TSC - OP+1 - 6
Molde	1	1	1	1	1	1
Volúmen del Molde (cm3)	942.18	942.18	942.18	942.18	942.18	942.18
Peso Molde (gr)	4172.00	4172.00	4172.00	4172.00	4172.00	4172.00
Peso Molde + Suelo Compactado (gr)	6345.00	6345.00	6351.00	6349.00	6349.00	6349.00
Peso Suelo Compactado (gr)	2173.00	2173.00	2179.00	2177.00	2177.00	2177.00
Densidad Húmeda (gr/cm3)	2.31	2.31	2.31	2.31	2.31	2.31
Densidad Seca (gr/cm3)	2.136	2.137	2.140	2.142	2.142	2.139
Grado de compactación (%)	99.34%	99.38%	99.52%	99.62%	99.65%	99.47%
Contenido de Humedad						
Cápsula	B-2	T-26	C-1	T-10	T-7	T-14
Peso Cápsula (gr)	63.80	68.02	66.49	69.69	70.33	65.50
Peso de Muestra Húmeda + Cápsula (gr)	562.97	568.51	566.22	569.58	570.20	565.42
Peso de Muestra Seca + Cápsula (gr)	526.04	531.70	528.82	533.07	533.82	528.20
Peso Agua (gr)	36.93	36.81	37.40	36.51	36.38	37.22
Peso Muestra Seca (gr)	462.24	463.68	462.33	463.38	463.49	462.70
Contenido de Humedad (%)	7.99%	7.94%	8.09%	7.88%	7.85%	8.04%
Diferencia en base al de diseño	-0.01%	-0.06%	0.09%	-0.12%	-0.15%	0.04%

Anexo 12 – Hojas de cálculo del ensayo de resistencia a la compresión de testigos de suelo cemento para análisis de sensibilidad por humedad de compactación

	FORMATO PARA LA RECOLECCIÓN DE DATOS UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL								
TESIS: "EVALUACIÓN COMPARATIVA DEL DISEÑO DE UN PAVIMENTO RÍGIDO CON SUBBASE TRATADA CON MÍNIMA CANTIDAD DE CEMENTO Y UNA SIN TRATAR, UTILIZANDO MATERIAL DE LA CANTERA DE QUILLAHUATA Y APLICADO A TRÁFICO VARIADO"									
ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD POR HUMEDAD DE COMPACTACIÓN (MTC E 1103)									
-1% De la óptima									
Testigo	Contenido de humedad	Diámetro Superior		Diámetro Inferior		Altura		Carga de Rotura (kg)	Resist. Compresión (kg/cm ²)
		1 (cm)	2 (cm)	1 (cm)	2 (cm)	1 (cm)	2 (cm)		
TSC - OP-1 - 1	6.11%	10.18	10.17	10.16	10.15	11.68	11.69	1660	18.6
TSC - OP-1 - 2	6.06%	10.18	10.17	10.16	10.15	11.68	11.69	1560	17.5
TSC - OP-1 - 3	5.82%	10.17	10.17	10.17	10.16	11.66	11.68	1580	17.7
TSC - OP-1 - 4	5.87%	10.16	10.17	10.16	10.16	11.69	11.71	1620	18.2
TSC - OP-1 - 5	6.04%	10.16	10.17	10.16	10.17	11.68	11.71	1650	18.5
TSC - OP-1 - 6	5.92%	10.17	10.16	10.16	10.17	11.69	11.72	1600	17.9
Promedio	5.97%							Promedio	18.1
+0% De la óptima									
Testigo	Contenido de humedad	Diámetro Superior		Diámetro Inferior		Altura		Carga de Rotura (kg)	Resist. Compresión (kg/cm ²)
		1 (cm)	2 (cm)	1 (cm)	2 (cm)	1 (cm)	2 (cm)		
TSC - OP+0 - 1	6.85%	10.17	10.17	10.16	10.17	11.67	11.69	1930	21.6
TSC - OP+0 - 2	7.06%	10.17	10.17	10.16	10.17	11.67	11.69	1950	21.8
TSC - OP+0 - 3	6.98%	10.17	10.16	10.18	10.17	11.67	11.69	2030	22.7
TSC - OP+0 - 4	7.18%	10.16	10.17	10.18	10.18	11.69	11.73	1990	22.3
TSC - OP+0 - 5	6.99%	10.17	10.16	10.17	10.16	11.72	11.71	2050	23.0
TSC - OP+0 - 6	7.10%	10.17	10.17	10.16	10.18	11.68	11.77	1850	20.7
Promedio	7.03%							Promedio	22.0
+1% De la óptima									
Testigo	Contenido de humedad	Diámetro Superior		Diámetro Inferior		Altura		Carga de Rotura (kg)	Resist. Compresión (kg/cm ²)
		1 (cm)	2 (cm)	1 (cm)	2 (cm)	1 (cm)	2 (cm)		
TSC - OP+1 - 1	7.99%	10.16	10.16	10.16	10.16	11.73	11.77	1790	20.1
TSC - OP+1 - 2	7.94%	10.16	10.16	10.16	10.16	11.67	11.69	1840	20.6
TSC - OP+1 - 3	8.09%	10.16	10.16	10.16	10.16	11.67	11.69	1860	20.9
TSC - OP+1 - 4	7.88%	10.16	10.16	10.16	10.16	11.69	11.73	1780	20.0
TSC - OP+1 - 5	7.85%	10.16	10.16	10.16	10.16	11.72	11.71	1920	21.5
TSC - OP+1 - 6	8.04%	10.16	10.16	10.16	10.16	11.68	11.77	1810	20.3
Promedio	7.96%							Promedio	20.6

Resistencia a la compresión según la humedad de compactación

Resistencia a la Compresión (kg/cm²)

Humedad de compactación (%)

• Resist. Compresión a diferentes humedades de compactación — Línea de tendencia

Anexo 13 – Hoja de cálculo de la variación de la densidad respecto al número de golpes por capa

	<p>FORMATO PARA LA RECOLECCIÓN DE DATOS</p> <p>UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO</p> <p>FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA</p> <p>ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL</p>				
<p>TESIS: "EVALUACIÓN COMPARATIVA DEL DISEÑO DE UN PAVIMENTO RÍGIDO CON SUBBASE TRATADA CON MÍNIMA CANTIDAD DE CEMENTO Y UNA SIN TRATAR, UTILIZANDO MATERIAL DE LA CANTERA DE QUILLAHUATA Y APLICADO A TRÁFICO VARIADO"</p>					
<p>VARIACIÓN DE LA DENSIDAD RESPECTO AL NUMERO DE GOLPES POR CAPA (MTC E 1102 - MTEC E 115)</p>					
<p>DENSIDAD DE LA MUESTRA</p>					
Máxima densidad seca (gr/cm3)	2.15				
Número de golpes	5	10	15	20	25
Molde	1	1	1	1	1
Volúmen del Molde (cm3)	942.18	942.18	942.18	942.18	942.18
Peso Molde (gr)	4172.00	4172.00	4172.00	4172.00	4172.00
Peso Molde + Suelo Compactado (gr)	6083.00	6216.00	6269.00	6300.00	6340.00
Peso Suelo Compactado (gr)	1911.00	2044.00	2097.00	2128.00	2168.00
Densidad Húmeda (gr/cm3)	2.03	2.17	2.23	2.26	2.30
Densidad Seca (gr/cm3)	1.897	2.025	2.081	2.111	2.147
Porcentaje respecto a la máxima	88.25%	94.19%	96.79%	98.17%	99.84%
<p>CONTENIDO DE HUMEDAD</p>					
Cápsula	T-2	T-10	D-2	T-23	T-13
Peso Cápsula (gr)	67.87	69.83	66.32	69.22	67.06
Peso de Muestra Húmeda + Cápsula (gr)	567.67	569.64	566.14	569.04	566.86
Peso de Muestra Seca + Cápsula (gr)	535.43	536.37	533.64	536.29	533.32
Peso Agua (gr)	32.24	33.27	32.50	32.75	33.54
Peso Muestra Seca (gr)	467.56	466.54	467.32	467.07	466.26
Contenido de Humedad (%)	6.90%	7.13%	6.95%	7.01%	7.19%

Grado de compactación según el número de golpes por capa

$y = 0.0708 \ln(x) + 0.7726$
 $R^2 = 0.9901$

Grado de compactación	95%	N° de golpes por capa necesarios	12.252
Grado de compactación	97%	N° de golpes por capa necesarios	16.251

Anexo 14 – Hoja de cálculo de la elaboración de testigos de suelo cemento para análisis de sensibilidad por densidad de compactación

FORMATO PARA LA RECOLECCIÓN DE DATOS						
		UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO				
		FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL				
<p>TESIS: "EVALUACIÓN COMPARATIVA DEL DISEÑO DE UN PAVIMENTO RÍGIDO CON SUBBASE TRATADA CON MÍNIMA CANTIDAD DE CEMENTO Y UNA SIN TRATAR, UTILIZANDO MATERIAL DE LA CANTERA DE QUILLA HUATA Y APLICADO A TRÁFICO VARIADO"</p>						
ELABORACIÓN DE TESTIGOS PARA ANÁLISIS POR DENSIDAD DE COMPACTACIÓN (ASTM D1632 - ASTM D559)						
DENSIDAD SECA: 100% DE LA MÁXIMA						
Densidad de la muestra						
Densidad seca (gr/cm3)	2.15			Contenido de humedad óptimo		7.00%
Muestra	TSC - OP-1 - 1	TSC - OP-1 - 2	TSC - OP-1 - 3	TSC - OP-1 - 4	TSC - OP-1 - 5	TSC - OP-1 - 6
Molde	1	1	1	1	1	1
Volúmen del Molde (cm3)	942.18	942.18	942.18	942.18	942.18	942.18
Peso Molde (gr)	4172.00	4172.00	4172.00	4172.00	4172.00	4172.00
Peso Molde + Suelo Compactado (gr)	6340.00	6341.00	6340.00	6340.00	6342.00	6337.00
Peso Suelo Compactado (gr)	2168.00	2169.00	2168.00	2168.00	2170.00	2165.00
Densidad Húmeda (gr/cm3)	2.30	2.30	2.30	2.30	2.30	2.30
Densidad Seca (gr/cm3)	2.151	2.151	2.148	2.149	2.152	2.150
Grado de compactación (%)	100.06%	100.03%	99.89%	99.93%	100.10%	99.99%
Contenido de Humedad						
Cápsula	T-11	T-3	T-19	T-23	T-9	Z-11
Peso Cápsula (gr)	72.30	67.78	65.92	69.09	69.15	45.82
Peso de Muestra Húmeda + Cápsula (gr)	570.14	567.58	565.82	568.80	568.97	545.64
Peso de Muestra Seca + Cápsula (gr)	537.75	534.71	532.49	535.69	536.20	513.42
Peso Agua (gr)	32.39	32.87	33.33	33.11	32.77	32.22
Peso Muestra Seca (gr)	465.45	466.93	466.57	466.60	467.05	467.60
Contenido de Humedad (%)	6.96%	7.04%	7.14%	7.10%	7.02%	6.89%
Diferencia en base al de diseño	-0.04%	0.04%	0.14%	0.10%	0.02%	-0.11%
DENSIDAD SECA: 97% DE LA MÁXIMA						
Densidad de la muestra						
Densidad seca (gr/cm3)	2.09			Contenido de humedad óptimo		7.00%
Muestra	TSC - OP+0 - 1	TSC - OP+0 - 2	TSC - OP+0 - 3	TSC - OP+0 - 4	TSC - OP+0 - 5	TSC - OP+0 - 6
Molde	1	1	1	1	1	1
Volúmen del Molde (cm3)	942.18	942.18	942.18	942.18	942.18	942.18
Peso Molde (gr)	4172.00	4172.00	4172.00	4172.00	4172.00	4172.00
Peso Molde + Suelo Compactado (gr)	6272.00	6279.00	6276.00	6275.00	6271.00	6275.00
Peso Suelo Compactado (gr)	2100.00	2107.00	2104.00	2103.00	2099.00	2103.00
Densidad Húmeda (gr/cm3)	2.23	2.24	2.23	2.23	2.23	2.23
Densidad Seca (gr/cm3)	2.084	2.088	2.087	2.084	2.083	2.086
Grado de compactación (%)	96.92%	97.12%	97.06%	96.94%	96.91%	97.02%
Contenido de Humedad						
Cápsula	Z-9	Z-8	Z-7	Z-6	Z-5	Z-4
Peso Cápsula (gr)	46.46	45.43	44.81	47.51	45.20	46.25
Peso de Muestra Húmeda + Cápsula (gr)	546.02	545.18	544.71	547.44	545.09	546.15
Peso de Muestra Seca + Cápsula (gr)	513.50	512.05	511.97	514.32	512.71	513.41
Peso Agua (gr)	32.52	33.13	32.74	33.12	32.38	32.74
Peso Muestra Seca (gr)	467.04	466.62	467.16	466.81	467.51	467.16
Contenido de Humedad (%)	6.96%	7.10%	7.01%	7.09%	6.93%	7.01%
Diferencia en base al de diseño	-0.04%	0.10%	0.01%	0.09%	-0.07%	0.01%
DENSIDAD SECA: 95% DE LA MÁXIMA						
Densidad de la muestra						
Densidad seca (gr/cm3)	2.04			Contenido de humedad óptimo		7.00%
Muestra	TSC - OP+1 - 1	TSC - OP+1 - 2	TSC - OP+1 - 3	TSC - OP+1 - 4	TSC - OP+1 - 5	TSC - OP+1 - 6
Molde	1	1	1	1	1	1
Volúmen del Molde (cm3)	942.18	942.18	942.18	942.18	942.18	942.18
Peso Molde (gr)	4172.00	4172.00	4172.00	4172.00	4172.00	4172.00
Peso Molde + Suelo Compactado (gr)	6230.00	6232.00	6238.00	6233.00	6235.00	6233.00
Peso Suelo Compactado (gr)	2058.00	2060.00	2066.00	2061.00	2063.00	2061.00
Densidad Húmeda (gr/cm3)	2.18	2.19	2.19	2.19	2.19	2.19
Densidad Seca (gr/cm3)	2.040	2.044	2.048	2.044	2.046	2.042
Grado de compactación (%)	94.88%	95.07%	95.26%	95.06%	95.17%	94.99%
Contenido de Humedad						
Cápsula	T-2	T-1	A-2	T-26	T-7	A-1
Peso Cápsula (gr)	67.72	67.18	67.03	68.04	70.31	67.68
Peso de Muestra Húmeda + Cápsula (gr)	567.48	567.08	566.94	567.95	567.28	567.74
Peso de Muestra Seca + Cápsula (gr)	534.43	534.50	533.94	535.09	534.74	534.56
Peso Agua (gr)	33.05	32.58	33.00	32.86	32.54	33.18
Peso Muestra Seca (gr)	466.71	467.32	466.91	467.05	464.43	466.88
Contenido de Humedad (%)	7.08%	6.97%	7.07%	7.04%	7.01%	7.11%
Diferencia en base al de diseño	0.08%	-0.03%	0.07%	0.04%	0.01%	0.11%

Anexo 15 – Hoja de cálculo del ensayo de resistencia a la compresión de testigos de suelo cemento para análisis de sensibilidad por densidad de compactación

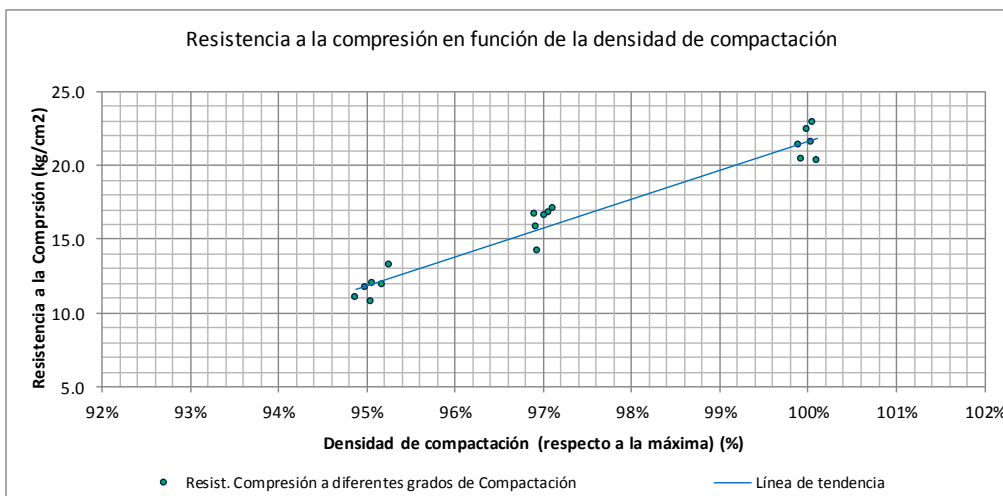
	FORMATO PARA LA RECOLECCIÓN DE DATOS UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL	
TESIS: "EVALUACIÓN COMPARATIVA DEL DISEÑO DE UN PAVIMENTO RÍGIDO CON SUBBASE TRATADA CON MÍNIMA CANTIDAD DE CEMENTO Y UNA SIN TRATAR, UTILIZANDO MATERIAL DE LA CANTERA DE QUILLAHUATA Y APLICADO A TRÁFICO VARIADO"		

ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD POR DENSIDAD DE COMPACTACIÓN (MTC E 1103)

DENSIDAD: 100% DE LA MÁXIMA									
Testigo	% de la DSM	Diámetro Superior		Diámetro Inferior		Altura		Carga de Rotura (kg)	Resist. Compresión (kg/cm ²)
		1 (cm)	2 (cm)	1 (cm)	2 (cm)	1 (cm)	2 (cm)		
TSC - 100 - 1	100.06%	10.18	10.17	10.16	10.15	11.68	11.69	2040	22.9
TSC - 100 - 2	100.03%	10.18	10.17	10.16	10.15	11.68	11.69	1920	21.5
TSC - 100 - 3	99.89%	10.17	10.17	10.17	10.16	11.66	11.68	1910	21.4
TSC - 100 - 4	99.93%	10.16	10.17	10.16	10.16	11.69	11.71	1820	20.4
TSC - 100 - 5	100.10%	10.16	10.17	10.16	10.17	11.68	11.71	1810	20.3
TSC - 100 - 6	99.99%	10.17	10.16	10.16	10.17	11.69	11.72	2000	22.4
Promedio	100.00%							Promedio	21.5

DENSIDAD: 97% DE LA MÁXIMA									
Testigo	% de la DSM	Diámetro Superior		Diámetro Inferior		Altura		Carga de Rotura (kg)	Resist. Compresión (kg/cm ²)
		1 (cm)	2 (cm)	1 (cm)	2 (cm)	1 (cm)	2 (cm)		
TSC - 97 - 1	96.92%	10.17	10.17	10.16	10.17	11.67	11.69	1410	15.8
TSC - 97 - 2	97.12%	10.17	10.17	10.16	10.17	11.67	11.69	1520	17.0
TSC - 97 - 3	97.06%	10.17	10.16	10.18	10.17	11.67	11.69	1500	16.8
TSC - 97 - 4	96.94%	10.16	10.17	10.18	10.18	11.69	11.73	1270	14.2
TSC - 97 - 5	96.91%	10.17	10.16	10.17	10.16	11.72	11.71	1490	16.7
TSC - 97 - 6	97.02%	10.17	10.17	10.16	10.18	11.68	11.77	1480	16.6
Promedio	96.99%							Promedio	16.2

DENSIDAD: 95% DE LA MÁXIMA									
Testigo	% de la DSM	Diámetro Superior		Diámetro Inferior		Altura		Carga de Rotura (kg)	Resist. Compresión (kg/cm ²)
		1 (cm)	2 (cm)	1 (cm)	2 (cm)	1 (cm)	2 (cm)		
TSC - 95 - 1	94.88%	10.16	10.16	10.16	10.16	11.73	11.77	980	11.0
TSC - 95 - 2	95.07%	10.16	10.16	10.16	10.16	11.67	11.69	1070	12.0
TSC - 95 - 3	95.26%	10.16	10.16	10.16	10.16	11.67	11.69	1180	13.2
TSC - 95 - 4	95.06%	10.16	10.16	10.16	10.16	11.69	11.73	960	10.8
TSC - 95 - 5	95.17%	10.16	10.16	10.16	10.16	11.72	11.71	1060	11.9
TSC - 95 - 6	94.99%	10.16	10.16	10.16	10.16	11.68	11.77	1040	11.7
Promedio	95.07%							Promedio	11.8



Anexo 16 – Hojas de cálculo del ensayo de CBR (suelo natural)

FORMATO PARA LA RECOLECCIÓN DE DATOS		UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO		FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA		ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL				
TESIS: "EVALUACIÓN COMPARATIVA DEL DISEÑO DE UN PAVIMENTO RÍGIDO CON SUBBASE TRATADA CON MÍNIMA CANTIDAD DE CEMENTO Y UNA SIN TRATAR, UTILIZANDO MATERIAL DE LA CANTERA DE QUILLAHUATA Y APLICADO A TRÁFICO VARIADO" ENSAYO DE CBR DE SUELO NATURAL (MTC E.132)										
Muestra: CBR - SN - 01										
Densidad Seca Máxima (gr/cm ³)	2.143									
Contenido de Humedad Óptimo (%)	7.21%									
Área del Pistón (cm ²)	20.27									
DENSIDAD DE LA MUESTRA										
Descripción	Especimen 01		Especimen 02		Especimen 03					
Número de Golpes por Capa	56		25		12					
Molde	M - 1		B - 1		D - 1					
Volúmen de la Muestra Compactada (cm ³)	2118.22		2114.62		2121.48					
Peso del Molde (gr)	7362		6821		7156					
Condición de la muestra	Sin sumergir	Sumergida	Sin sumergir	Sumergida	Sin sumergir	Sumergida				
Peso del Molde + Muestra Compactada (gr)	12206	12329	11468	11654	11592	11833				
Peso de la Muestra Compactada (gr)	4844	4967	4647	4833	4436	4677				
Densidad Seca (gr/cm ³)	2.13		2.05		1.95					
Peso del Agua Absorbida (gr)	-	123	-	186	-	241				
Porcentaje de Absorción	-	2.72%	-	4.29%	-	5.82%				
CONTENIDO DE HUMEDAD										
Descripción	Especimen 01		Especimen 02		Especimen 03					
Condición de la muestra	Sin sumergir	Sumergida	Sin sumergir	Sumergida	Sin sumergir	Sumergida				
Cápsula	T-28	O-1	T-15	A-2	T-13	T-12	T-5			
Peso Cápsula (gr)	65.84	71.48	69.48	67.09	66.92	70.36	71.06			
Peso de Muestra Húmeda + Cápsula (gr)	571.53	586.5	593	591.93	580.2	540.3	577.43			
Peso de Muestra Seca + Cápsula (gr)	537.63	552.3	542.2	557.02	545.68	487.88	543.52			
Peso Agua (gr)	33.9	34.2	50.8	34.91	34.52	52.42	33.91			
Peso Muestra Seca (gr)	471.79	480.82	472.72	489.93	478.76	417.52	472.46			
Contenido de Humedad (%)	7.19%	7.11%	10.75%	7.13%	7.21%	12.56%	7.18%			
Promedio (%)	7.15%		10.75%		7.17%		12.56%			
DATOS DEL ENSAYO DE EXPANSIÓN										
Fecha		Espécimen 01		Espécimen 02		Espécimen 03				
Fecha	Hora	Tiempo Transcurrido	Dial *0.001	Deform. (mm)	Expansión (%)	Dial *0.001	Deform. (mm)			
27/02/2018	16:00	00:00 hrs	0.0	0.000	0.00%	0.0	0.000			
28/02/2018	15:30	23:30 hrs	21.0	0.525	0.45%	80.6	2.015			
01/03/2018	15:15	47:15 hrs	45.8	1.145	0.98%	84.0	2.100			
02/03/2018	16:00	72:00 hrs	59.8	1.495	1.28%	84.0	2.100			
03/03/2018	17:00	97:00 hrs	68.8	1.720	1.48%	84.0	2.100			
DATOS DEL ENSAYO DE PENETRACIÓN (CBR)										
Carga Unitaria Patrón (kg/cm ²)		Espécimen 01			Espécimen 02			Espécimen 03		
Dial *0.001"	Penetración (mm)	Fuerza (kg)	Esfuerzo (kg/cm ²)	CBR (%)	Fuerza (kg)	Esfuerzo (kg/cm ²)	CBR (%)	Fuerza (kg)	Esfuerzo (kg/cm ²)	CBR (%)
0	0.000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
25	0.635	58.71	2.90		32.13	1.58		18.97	0.94	
50	1.270	115.31	5.69		72.53	3.58		31.51	1.55	
75	1.905	173.24	8.55		118.41	5.84		40.28	1.99	
70.31	100	2540	232.33	11.46	163.15	8.05	11.45%	47.06	2.32	3.30%
125	3.175	285.12	14.07		201.11	9.92		53.53	2.64	
150	3.810	328.91	16.23		235.53	11.62		59.86	2.95	
105.46	200	5080	401.69	19.82	280.16	13.82	13.11%	67.81	3.35	3.17%
300	7.620	515.00	25.41		339.56	16.75		85.65	4.23	
400	10.160	605.73	29.88		383.41	18.92		102.89	5.08	
500	12.700	690.89	34.08		427.25	21.08		118.39	5.84	

Curvas esfuerzo - penetración

CBR en función de la densidad

RESULTADOS					
Número de golpes	Densidad Seca	Expansión	Absorción	CBR	
55	2.13 gr/cm ³	1.48%	2.72%	18.79%	
25	2.05 gr/cm ³	1.81%	4.29%	13.11%	
12	1.95 gr/cm ³	1.96%	5.82%	3.17%	

Densidad Seca Máxima (gr/cm ³)	2.14 gr/cm ³
CBR al 100% de la DSM	19.00%

		FORMATO PARA LA RECOLECCIÓN DE DATOS UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL									
TESIS: "EVALUACIÓN COMPARATIVA DEL DISEÑO DE UN PAVIMENTO RÍGIDO CON SUBBASE TRATADA CON MÍNIMA CANTIDAD DE CEMENTO Y UNA SIN TRATAR, UTILIZANDO MATERIAL DE LA CANTERA DE QUILLAHUATA Y APLICADO A TRÁFICO VARIADO"											
ENSAYO DE CBR DE SUELO NATURAL (MTC E 132)											
Muestra: CBR - SN - 02											
Densidad Seca Máxima (gr/cm3)	2.143										
Contenido de Humedad Óptimo (%)	7.21%										
Área del Pistón (cm2)	20.27										
DENSIDAD DE LA MUESTRA											
Descripción	Especimen 01		Especimen 02		Especimen 03						
Número de Golpes por Capa	56		25		12						
Molde	M - 5		M - 4		M - 2						
Volumen de la Muestra Compactada (cm3)	2119.66		2122.83		2121.96						
Peso del Molde (gr)	6986		7003		6966						
Condición de la muestra	Sin sumergir	Sumergida	Sin sumergir	Sumergida	Sin sumergir	Sumergida					
Peso del Molde + Muestra Compactada (gr)	11858	11987	11657	11838	11392	11638					
Peso de la Muestra Compactada (gr)	4872	5001	4654	4835	4426	4672					
Densidad Seca (gr/cm3)	2.14		2.04		1.94						
Peso del Agua Absorbida (gr)	-	129	-	181	-	246					
Porcentaje de Absorción	-	2.84%	-	4.17%	-	5.96%					
CONTENIDO DE HUMEDAD											
Descripción	Especimen 01		Especimen 02		Especimen 03						
Condición de la muestra	Sin sumergir	Sumergida	Sin sumergir	Sumergida	Sin sumergir	Sumergida					
Cápsula	T-1	T-4	Z-10	T-24	D-2	T-18	C-2				
Peso Cápsula (gr)	67.22	67.78	46.29	65.86	66.18	47.09	68.73				
Peso de Muestra Húmeda + Cápsula (gr)	560	560.92	592.13	586.29	572.41	583.07	554.53				
Peso de Muestra Seca + Cápsula (gr)	526.5	528.2	540.39	550.64	538.85	522.53	521.29				
Peso Agua (gr)	33.5	32.72	51.74	35.65	33.56	60.54	33.24				
Peso Muestra Seca (gr)	459.28	460.42	494.1	484.78	472.67	475.44	452.56				
Contenido de Humedad (%)	7.29%	7.11%	10.47%	7.35%	7.10%	12.73%	7.34%				
Promedio (%)	7.20%		7.23%		7.27%						
DATOS DEL ENSAYO DE EXPANSIÓN											
Fecha	Hora	Tiempo Transcurrido	Especimen 01		Especimen 02		Especimen 03				
			Dial *0.001	Deform. (mm)	Expansión (%)	Dial *0.001	Deform. (mm)	Expansión (%)			
27/02/2018	16:00	00:00 hrs	0.0	0.000	0.00%	0.0	0.000	0.00%			
28/02/2018	15:30	23:30 hrs	55.0	1.375	1.18%	80.0	2.000	1.72%			
01/03/2018	15:15	47:15 hrs	82.5	2.063	1.77%	94.5	2.363	2.03%			
02/03/2018	16:00	72:00 hrs	88.5	2.213	1.90%	95.0	2.375	2.04%			
03/03/2018	17:00	97:00 hrs	102.5	2.563	2.21%	95.0	2.375	2.04%			
DATOS DEL ENSAYO DE PENETRACIÓN (CBR)											
Carga Unitaria Patrón (kg/cm2)	Dial *0.001"	Penetración (mm)	Especimen 01			Especimen 02			Especimen 03		
			Fuerza (kg)	Esfuerzo (Kg/cm2)	CBR (%)	Fuerza (kg)	Esfuerzo (Kg/cm2)	CBR (%)	Fuerza (kg)	Esfuerzo (Kg/cm2)	CBR (%)
0	0.000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
25	0.635	76.42	3.77			50.54	2.49		16.60	0.82	
50	1.270	148.89	7.35			99.76	4.92		29.16	1.44	
75	1.905	220.68	10.89			149.46	7.37		39.93	1.97	
100	2.540	280.61	13.84	19.69%	193.38	9.54	13.57%	49.24	2.43	3.45%	
125	3.175	338.76	16.71		225.86	11.14		56.64	2.79		
150	3.810	389.85	19.23		253.86	12.52		63.60	3.14		
105.46	200	5.080	464.97	22.94	21.75%	304.24	15.01	14.23%	76.62	3.78	3.58%
	300	7.620	583.01	28.76		389.73	19.23		97.81	4.83	
	400	10.160	676.19	33.36		445.41	21.97		118.23	5.83	
	500	12.700	756.14	37.30		491.81	24.26		135.28	6.67	

Curvas esfuerzo - penetración

CBR en función de la densidad

RESULTADOS

Número de golpes	Densidad Seca	Expansión	Absorción	CBR
55	2.14 gr/cm3	2.21%	2.84%	21.75%
25	2.04 gr/cm3	2.04%	4.17%	14.23%
12	1.94 gr/cm3	1.85%	5.96%	3.58%

Densidad Seca Máxima (gr/cm3)	2.14 gr/cm3
CBR al 100% de la DSM	21.36%

		FORMATO PARA LA RECOLECCIÓN DE DATOS UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL									
TESIS: "EVALUACIÓN COMPARATIVA DEL DISEÑO DE UN PAVIMENTO RÍGIDO CON SUBBASE TRATADA CON MÍNIMA CANTIDAD DE CEMENTO Y UNA SIN TRATAR, UTILIZANDO MATERIAL DE LA CANTERA DE QUILLAHUATA Y APLICADO A TRÁFICO VARIADO"											
ENSAYO DE CBR DE SUELO NATURAL (MTC E 132)											
Muestra: CBR - SN - 03											
Densidad Seca Máxima (gr/cm3)	2.143										
Contenido de Humedad Óptimo (%)	7.21%										
Área del Pistón (cm2)	20.27										
DENSIDAD DE LA MUESTRA											
Descripción	Especimen 01		Especimen 02		Especimen 03						
Número de Golpes por Capa	56		25		12						
Molde	L - 1		A - 1		C - 1						
Volumen de la Muestra Compactada (cm3)	2119.18		2116.83		2120.52						
Peso del Molde (gr)	7192		7229		7063						
Condición de la muestra	Sin sumergir	Sumergida	Sin sumergir	Sumergida	Sin sumergir	Sumergida					
Peso del Molde + Muestra Compactada (gr)	12045	12167	11873	12071	11508	11755					
Peso de la Muestra Compactada (gr)	4853	4975	4644	4842	4445	4692					
Densidad Seca (gr/cm3)	2.14		2.05		1.96						
Peso del Agua Absorbida (gr)	-	122	-	198	-	247					
Porcentaje de Absorción	-	2.69%	-	4.57%	-	5.95%					
CONTENIDO DE HUMEDAD											
Descripción	Especimen 01		Especimen 02		Especimen 03						
Condición de la muestra	Sin sumergir	Sumergida	Sin sumergir	Sumergida	Sin sumergir	Sumergida					
Cápsula	T-26	B-2	P-2	T-21	T-27	Z-14	T-2				
Peso Cápsula (gr)	68.08	63.79	86.07	66.5	68.62	45.42	67.72				
Peso de Muestra Húmeda + Cápsula (gr)	589.17	570.75	563.25	591.75	588.07	565.02	578.5				
Peso de Muestra Seca + Cápsula (gr)	554.3	537.39	519.24	556.69	553.12	505.53	544.14				
Peso Agua (gr)	34.87	33.36	44.01	35.06	34.95	59.49	34.36				
Peso Muestra Seca (gr)	486.22	473.6	433.17	490.19	484.5	460.11	476.42				
Contenido de Humedad (%)	7.17%	7.04%	10.16%	7.15%	7.21%	12.93%	7.21%				
Promedio (%)	7.11%		10.16%		7.18%		7.11%				
DATOS DEL ENSAYO DE EXPANSIÓN											
Fecha	Hora	Tiempo Transcurrido	Especimen 01			Especimen 02			Especimen 03		
			Dial *0.001	Deform. (mm)	Expansión (%)	Dial *0.001	Deform. (mm)	Expansión (%)	Dial *0.001	Deform. (mm)	Expansión (%)
27/02/2018	16:00	00:00 hrs	0.0	0.000	0.00%	0.0	0.000	0.00%	0.0	0.000	0.00%
28/02/2018	15:30	23:30 hrs	44.2	1.105	0.95%	68.5	1.713	1.47%	72.5	1.813	1.56%
01/03/2018	15:15	47:15 hrs	63.0	1.575	1.35%	81.0	2.025	1.74%	74.0	1.850	1.59%
02/03/2018	16:00	72:00 hrs	69.0	1.725	1.48%	81.5	2.038	1.75%	74.0	1.850	1.59%
03/03/2018	17:00	97:00 hrs	72.5	1.813	1.56%	81.5	2.038	1.75%	74.0	1.850	1.59%
DATOS DEL ENSAYO DE PENETRACIÓN (CBR)											
Carga Unitaria Patrón (kg/cm2)	Dial *0.001"	Penetración (mm)	Especimen 01			Especimen 02			Especimen 03		
			Fuerza (kg)	Esfuerzo (Kg/cm2)	CBR (%)	Fuerza (kg)	Esfuerzo (Kg/cm2)	CBR (%)	Fuerza (kg)	Esfuerzo (Kg/cm2)	CBR (%)
0	0.000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
25	0.635	51.60	2.55	12.26	6.03	35.84	1.77	8.62	17.03	0.84	4.16
50	1.270	122.26	6.03	29.11	14.46	77.31	3.81	18.87	29.01	1.43	6.96
75	1.905	184.67	9.11	43.67	21.69	116.86	5.77	28.45	38.29	1.89	9.33
100	2.540	247.48	12.21	60.52	29.82	149.39	7.37	36.38	47.24	2.33	11.51
125	3.175	305.40	15.07	74.28	36.64	178.14	8.79	43.38	54.12	2.67	13.18
150	3.810	357.30	17.63	87.19	43.09	208.92	10.31	51.34	58.84	2.90	14.68
105.46	200	5.080	440.82	21.75	107.63	263.33	12.99	63.66	68.73	3.39	16.25
300	7.620	568.38	28.04	137.19	67.74	361.25	17.82	87.29	87.29	4.31	20.81
400	10.160	665.46	32.83	162.09	79.99	464.05	22.89	113.18	105.19	5.19	24.63
500	12.700	729.90	36.01	182.46	90.71	541.64	26.72	132.16	120.69	5.95	28.38
Curvas esfuerzo - penetración											
CBR en función de la densidad											
RESULTADOS											
Número de golpes	Densidad Seca	Expansión	Absorción	CBR	Densidad Seca Máxima (gr/cm3)	2.143 gr/cm3					
55	2.14 gr/cm3	1.56%	20.62%		CBR al 100% de la DSM	20.66%					
25	2.05 gr/cm3	1.75%	4.57%	12.32%							
12	1.96 gr/cm3	1.59%	5.95%	3.22%							

Anexo 17 – Hojas de cálculo del ensayo de CBR (suelo cemento)

FORMATO PARA LA RECOLECCIÓN DE DATOS		UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO		FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA		ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL		
<p>TESIS: "EVALUACIÓN COMPARATIVA DEL DISEÑO DE UN PAVIMENTO RÍGIDO CON SUBBASE TRATADA CON MÍNIMA CANTIDAD DE CEMENTO Y UNA SIN TRATAR, UTILIZANDO MATERIAL DE LA CANTERA DE QUILLAHUATA Y APLICADO A TRÁFICO VARIADO"</p> <p>ENSAYO DE CBR DE SUELO CEMENTO (MTC E 132)</p>								
Muestra: CBR - 5C - 01								
Densidad Seca Máxima (gr/cm ³)	2.15							
Contenido de Humedad Óptimo (%)	7.00%							
Área del Pistón (cm ²)	20.27							
DENSIDAD DE LA MUESTRA								
Descripción	Especimen 01		Especimen 02		Especimen 03			
Número de Golpes por Capa	56		25		12			
Molde	M - 4		M - 5		M - 6			
Volúmen de la Muestra Compactada (cm ³)	2122.83		2119.66		2124.70			
Peso del Molde (gr)	8466		8477		8652			
Condición de la muestra	Sin sumergir	Sumergida	Sin sumergir	Sumergida	Sin sumergir	Sumergida		
Peso del Molde + Muestra Compactada (gr)	13332	13382	13112	13196	13053	13226		
Peso de la Muestra Compactada (gr)	4866	4916	4635	4719	4401	4574		
Densidad Seca (gr/cm ³)	2.14		2.04		1.94			
Peso del Agua Absorbida (gr)	-	50	-	84	-	173		
Porcentaje de Absorción	1.10%		1.94%		4.20%			
CONTENIDO DE HUMEDAD								
Descripción	Especimen 01		Especimen 02		Especimen 03			
Condición de la muestra	Sin sumergir	Sumergida	Sin sumergir	Sumergida	Sin sumergir	Sumergida		
Cápsula	T-10	T-2	T-13	T-23	D-2	T-13	C-1	
Peso Cápsula (gr)	67.33	67.15	67.06	69.23	66.3	67.04	61.48	
Peso de Muestra Húmeda + Cápsula (gr)	595.26	589.75	591.96	594.74	596.22	537.81	571.32	
Peso de Muestra Seca + Cápsula (gr)	560.34	556.11	545.99	559.83	561.79	488.51	538.56	
Peso Agua (gr)	34.92	33.64	45.97	34.91	34.43	49.3	32.76	
Peso Muestra Seca (gr)	493.01	488.96	478.93	490.6	495.49	422.17	471.52	
Contenido de Humedad (%)	7.08%	6.88%	9.60%	7.12%	6.95%	11.68%	6.95%	
Promedio (%)	6.98%		9.60%		7.03%		11.68%	
DATOS DEL ENSAYO DE EXPANSIÓN								
Fecha	Hora	Tiempo transcurrido	Dial *0.001	Deform. (mm)	Expansión (%)	Dial *0.001	Deform. (mm)	Expansión (%)
19/02/2018	12:30	00:00 hrs	0.0	0.000	0.00%	0.0	0.000	0.00%
20/02/2018	14:40	26:10 hrs	0.0	0.000	0.00%	0.5	0.013	0.01%
21/02/2018	12:00	47:30 hrs	0.5	0.013	0.01%	0.5	0.013	0.01%
22/02/2018	12:15	71:45 hrs	0.5	0.013	0.01%	1.0	0.025	0.02%
23/02/2018	10:00	93:30 hrs	0.5	0.013	0.01%	1.0	0.025	0.02%
DATOS DEL ENSAYO DE PENETRACIÓN (CBR)								
Carga Unitaria Patrón (kg/cm ²)	Dial *0.001"	Penetración (mm)	Fuerza (kg)	Esfuerzo (kg/cm ²)	CBR (%)	Fuerza (kg)	Esfuerzo (kg/cm ²)	CBR (%)
0	0.000	0.00	0.00	0.00		0.13	0.01	0.00
25	0.635	1321.63	65.20			1397.34	68.94	458.14
50	1.270	2471.08	121.91			2226.42	109.84	900.51
75	1.905	3478.66	171.62			2835.00	139.86	1227.37
100	2.540	4238.90	209.12	297.43%		3291.12	162.36	230.93%
125	3.175					3584.70	176.85	1639.17
150	3.810					3788.82	186.92	1786.14
200	5.080			0.00%		4042.08	199.41	189.09%
300	7.620					4098.78	202.21	2344.91
400	10.160					4111.38	202.83	2576.83
500	12.700					4111.38	202.83	2756.71

Curvas esfuerzo - penetración

CBR en función de la densidad

RESULTADOS				
Número de golpes	Densidad Seca	Expansión	Absorción	CBR
56	2.14 gr/cm ³	0.01%	1.10%	297.43%
25	2.04 gr/cm ³	0.02%	1.94%	230.93%
12	1.94 gr/cm ³	0.02%	4.20%	102.39%

Densidad Seca Máxima (gr/cm ³)	2.15 gr/cm ³
CBR al 100% de la DSM	301.94%

		FORMATO PARA LA RECOLECCIÓN DE DATOS UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL					
TESIS: "EVALUACIÓN COMPARATIVA DEL DISEÑO DE UN PAVIMENTO RÍGIDO CON SUBBASE TRATADA CON MÍNIMA CANTIDAD DE CEMENTO Y UNA SIN TRATAR, UTILIZANDO MATERIAL DE LA CANTERA DE QUILLAHUATA Y APLICADO A TRÁFICO VARIADO"							
ENSAYO DE CBR DE SUELO CEMENTO (MTC E 132)							
Muestra: CBR - SC - 02							
Densidad Seca Máxima (gr/cm ³)		2.15					
Contenido de Humedad Óptimo (%)		7.00%					
Área del Pistón (cm ²)		20.27					
DENSIDAD DE LA MUESTRA							
Descripción		Espécimen 01		Espécimen 02		Espécimen 03	
Número de Golpes por Capa		56		25		12	
Molde		A - 1		A - 2		A - 3	
Volumen de la Muestra Compactada (cm ³)		2116.83		2114.19		2115.97	
Peso del Molde (gr)		8637		8463		8473	
Condición de la muestra		Sin sumergir / Sumergida		Sin sumergir / Sumergida		Sin sumergir / Sumergida	
Peso del Molde + Muestra Compactada (gr)		13496 / 13557		13092 / 13178		12893 / 13053	
Peso de la Muestra Compactada (gr)		4859 / 4920		4629 / 4715		4420 / 4580	
Densidad Seca (gr/cm ³)		2.15		2.05		1.96	
Peso del Agua Absorbida (gr)		-		86		-	
Porcentaje de Absorción		-		1.34%		-	
CONTENIDO DE HUMEDAD							
Descripción		Espécimen 01		Espécimen 02		Espécimen 03	
Condición de la muestra		Sin sumergir / Sumergida		Sin sumergir / Sumergida		Sin sumergir / Sumergida	
Cápsula		T-1 / T-6		T-2 / T-17		T-23 / C-1	
Peso Cápsula (gr)		67.36 / 69.57		68.87 / 67.23		69.31 / 69.23	
Peso de Muestra Húmeda + Cápsula (gr)		594.79 / 588.57		563.91 / 595.11		596.95 / 526.44	
Peso de Muestra Seca + Cápsula (gr)		560.51 / 555.8		560.54 / 562.96		480.19 / 564.79	
Peso Agua (gr)		34.28 / 32.77		41.06 / 34.57		33.99 / 46.25	
Peso Muestra Seca (gr)		493.15 / 486.23		493.31 / 493.65		419.96 / 498.15	
Contenido de Humedad (%)		6.95% / 6.74%		7.01% / 6.89%		11.25% / 6.98%	
Promedio (%)		6.85%		6.95%		6.83%	
DATOS DEL ENSAYO DE EXPANSIÓN							
Fecha		Espécimen 01		Espécimen 02		Espécimen 03	
Hora		Espécimen 01		Espécimen 02		Espécimen 03	
Tiempo Transcurrido		Espécimen 01		Espécimen 02		Espécimen 03	
Dial *0.001		Espécimen 01		Espécimen 02		Espécimen 03	
Deform. (mm)		Espécimen 01		Espécimen 02		Espécimen 03	
Expansión (%)		Espécimen 01		Espécimen 02		Espécimen 03	
Dial *0.001		Espécimen 01		Espécimen 02		Espécimen 03	
Deform. (mm)		Espécimen 01		Espécimen 02		Espécimen 03	
Expansión (%)		Espécimen 01		Espécimen 02		Espécimen 03	
Dial *0.001		Espécimen 01		Espécimen 02		Espécimen 03	
Deform. (mm)		Espécimen 01		Espécimen 02		Espécimen 03	
Expansión (%)		Espécimen 01		Espécimen 02		Espécimen 03	
Dial *0.001		Espécimen 01		Espécimen 02		Espécimen 03	
Deform. (mm)		Espécimen 01		Espécimen 02		Espécimen 03	
Expansión (%)		Espécimen 01		Espécimen 02		Espécimen 03	
Dial *0.001		Espécimen 01		Espécimen 02		Espécimen 03	
Deform. (mm)		Espécimen 01		Espécimen 02		Espécimen 03	
Expansión (%)		Espécimen 01		Espécimen 02		Espécimen 03	
Dial *0.001		Espécimen 01		Espécimen 02		Espécimen 03	
Deform. (mm)		Espécimen 01		Espécimen 02		Espécimen 03	
Expansión (%)		Espécimen 01		Espécimen 02		Espécimen 03	
Dial *0.001		Espécimen 01		Espécimen 02		Espécimen 03	
Deform. (mm)		Espécimen 01		Espécimen 02		Espécimen 03	
Expansión (%)		Espécimen 01		Espécimen 02		Espécimen 03	
Dial *0.001		Espécimen 01		Espécimen 02		Espécimen 03	
Deform. (mm)		Espécimen 01		Espécimen 02		Espécimen 03	
Expansión (%)		Espécimen 01		Espécimen 02		Espécimen 03	
Dial *0.001		Espécimen 01		Espécimen 02		Espécimen 03	
Deform. (mm)		Espécimen 01		Espécimen 02		Espécimen 03	
Expansión (%)		Espécimen 01		Espécimen 02		Espécimen 03	
Dial *0.001		Espécimen 01		Espécimen 02		Espécimen 03	
Deform. (mm)		Espécimen 01		Espécimen 02		Espécimen 03	
Expansión (%)		Espécimen 01		Espécimen 02		Espécimen 03	
Dial *0.001		Espécimen 01		Espécimen 02		Espécimen 03	
Deform. (mm)		Espécimen 01		Espécimen 02		Espécimen 03	
Expansión (%)		Espécimen 01		Espécimen 02		Espécimen 03	
Dial *0.001		Espécimen 01		Espécimen 02		Espécimen 03	
Deform. (mm)		Espécimen 01		Espécimen 02		Espécimen 03	
Expansión (%)		Espécimen 01		Espécimen 02		Espécimen 03	
Dial *0.001		Espécimen 01		Espécimen 02		Espécimen 03	
Deform. (mm)		Espécimen 01		Espécimen 02		Espécimen 03	
Expansión (%)		Espécimen 01		Espécimen 02		Espécimen 03	
Dial *0.001		Espécimen 01		Espécimen 02		Espécimen 03	
Deform. (mm)		Espécimen 01		Espécimen 02		Espécimen 03	
Expansión (%)		Espécimen 01		Espécimen 02		Espécimen 03	
Dial *0.001		Espécimen 01		Espécimen 02		Espécimen 03	
Deform. (mm)		Espécimen 01		Espécimen 02		Espécimen 03	
Expansión (%)		Espécimen 01		Espécimen 02		Espécimen 03	
Dial *0.001		Espécimen 01		Espécimen 02		Espécimen 03	
Deform. (mm)		Espécimen 01		Espécimen 02		Espécimen 03	
Expansión (%)		Espécimen 01		Espécimen 02		Espécimen 03	
Dial *0.001		Espécimen 01		Espécimen 02		Espécimen 03	
Deform. (mm)		Espécimen 01		Espécimen 02		Espécimen 03	
Expansión (%)		Espécimen 01		Espécimen 02		Espécimen 03	
Dial *0.001		Espécimen 01		Espécimen 02		Espécimen 03	
Deform. (mm)		Espécimen 01		Espécimen 02		Espécimen 03	
Expansión (%)		Espécimen 01		Espécimen 02		Espécimen 03	
Dial *0.001		Espécimen 01		Espécimen 02		Espécimen 03	
Deform. (mm)		Espécimen 01		Espécimen 02		Espécimen 03	
Expansión (%)		Espécimen 01		Espécimen 02		Espécimen 03	
Dial *0.001		Espécimen 01		Espécimen 02		Espécimen 03	
Deform. (mm)		Espécimen 01		Espécimen 02		Espécimen 03	
Expansión (%)		Espécimen 01		Espécimen 02		Espécimen 03	
Dial *0.001		Espécimen 01		Espécimen 02		Espécimen 03	
Deform. (mm)		Espécimen 01		Espécimen 02		Espécimen 03	
Expansión (%)		Espécimen 01		Espécimen 02		Espécimen 03	
Dial *0.001		Espécimen 01		Espécimen 02		Espécimen 03	
Deform. (mm)		Espécimen 01		Espécimen 02		Espécimen 03	
Expansión (%)		Espécimen 01		Espécimen 02		Espécimen 03	
Dial *0.001		Espécimen 01		Espécimen 02		Espécimen 03	
Deform. (mm)		Espécimen 01		Espécimen 02		Espécimen 03	
Expansión (%)		Espécimen 01		Espécimen 02		Espécimen 03	
Dial *0.001		Espécimen 01		Espécimen 02		Espécimen 03	
Deform. (mm)		Espécimen 01		Espécimen 02		Espécimen 03	
Expansión (%)		Espécimen 01		Espécimen 02		Espécimen 03	
Dial *0.001		Espécimen 01		Espécimen 02		Espécimen 03	
Deform. (mm)		Espécimen 01		Espécimen 02		Espécimen 03	
Expansión (%)		Espécimen 01		Espécimen 02		Espécimen 03	
Dial *0.001		Espécimen 01		Espécimen 02		Espécimen 03	
Deform. (mm)		Espécimen 01		Espécimen 02		Espécimen 03	
Expansión (%)		Espécimen 01		Espécimen 02		Espécimen 03	
Dial *0.001		Espécimen 01		Espécimen 02		Espécimen 03	
Deform. (mm)		Espécimen 01		Espécimen 02		Espécimen 03	
Expansión (%)		Espécimen 01		Espécimen 02		Espécimen 03	
Dial *0.001		Espécimen 01		Espécimen 02		Espécimen 03	
Deform. (mm)		Espécimen 01		Espécimen 02		Espécimen 03	
Expansión (%)		Espécimen 01		Espécimen 02		Espécimen 03	
Dial *0.001		Espécimen 01		Espécimen 02		Espécimen 03	
Deform. (mm)		Espécimen 01		Espécimen 02		Espécimen 03	
Expansión (%)		Espécimen 01		Espécimen 02		Espécimen 03	
Dial *0.001		Espécimen 01		Espécimen 02		Espécimen 03	
Deform. (mm)		Espécimen 01		Espécimen 02		Espécimen 03	
Expansión (%)		Espécimen 01		Espécimen 02		Espécimen 03	
Dial *0.001		Espécimen 01		Espécimen 02		Espécimen 03	
Deform. (mm)		Espécimen 01		Espécimen 02		Espécimen 03	
Expansión (%)		Espécimen 01		Espécimen 02		Espécimen 03	
Dial *0.001		Espécimen 01		Espécimen 02		Espécimen 03	
Deform. (mm)		Espécimen 01		Espécimen 02		Espécimen 03	
Expansión (%)		Espécimen 01		Espécimen 02		Espécimen 03	
Dial *0.001		Espécimen 01		Espécimen 02		Espécimen 03	
Deform. (mm)		Espécimen 01		Espécimen 02		Espécimen 03	
Expansión (%)		Espécimen 01		Espécimen 02		Espécimen 03	
Dial *0.001		Espécimen 01		Espécimen 02		Espécimen 03	
Deform. (mm)		Espécimen 01		Espécimen 02		Espécimen 03	
Expansión (%)		Espécimen 01		Espécimen 02		Espécimen 03	
Dial *0.001		Espécimen 01		Espécimen 02		Espécimen 03	
Deform. (mm)		Espécimen 01		Espécimen 02		Espécimen 03	
Expansión (%)		Espécimen 01		Espécimen 02		Espécimen 03	
Dial *0.001		Espécimen 01		Espécimen 02		Espécimen 03	
Deform. (mm)		Espécimen 01		Espécimen 02		Espécimen 03	
Expansión (%)		Espécimen 01		Espécimen 02		Espécimen 03	
Dial *0.001		Espécimen 01		Espécimen 02		Espécimen 03	
Deform. (mm)		Espécimen 01		Espécimen 02		Espécimen 03	
Expansión (%)		Espécimen 01		Espécimen 02		Espécimen 03	
Dial *0.001		Espécimen 01		Espécimen 02		Espécimen 03	
Deform. (mm)		Espécimen 01		Espécimen 02		Espécimen 03	
Expansión (%)		Espécimen 01		Espécimen 02		Espécimen 03	
Dial *0.001		Espécimen 01		Espécimen 02		Espécimen 03	
Deform. (mm)		Espécimen 01		Espécimen 02		Espécimen 03	
Expansión (%)		Espécimen 01		Espécimen 02		Espécimen 03	
Dial *0.001		Espécimen 01		Espécimen 02		Espécimen 03	
Deform. (mm)		Espécimen 01		Espécimen 02		Espécimen 03	
Expansión (%)		Espécimen 01		Espécimen 02		Espécimen 03	
Dial *0.001		Espécimen 01		Espécimen 02		Espécimen 03	
Deform. (mm)		Espécimen 01		Espécimen 02		Espécimen 03	
Expansión (%)		Espécimen 01		Espécimen 02		Espécimen 03	
Dial *0.001		Espécimen 01		Espécimen 02		Espécimen 03	
Deform. (mm)		Espécimen 01		Espécimen 02		Espécimen 03	
Expansión (%)		Espécimen 01		Espécimen 02		Espécimen 03	
Dial *0.001		Espécimen 01		Espécimen 02		Espécimen 03	
Deform. (mm)		Espécimen 01		Espécimen 02		Espécimen 03	
Expansión (%)		Espécimen 01		Espécimen 02		Espécimen 03	
Dial *0.001		Espécimen 01		Espécimen 02		Espécimen 03	
Deform. (mm)		Espécimen 01		Espécimen 02		Espécimen 03	
Expansión (%)		Espécimen 01		Espécimen 02		Espécimen 03	
Dial *0.001		Espécimen 01		Espécimen 02		Espécimen 03	
Deform. (mm)		Espécimen 01		Espécimen 02		Espécimen 03	
Expansión (%)		Espécimen 01		Espécimen 02		Espécimen 03	
Dial *0.001		Espécimen 01		Espécimen 02		Espécimen 03	
Deform. (mm)		Espécimen 01		Espécimen 02		Espécimen 03	
Expansión (%)		Espécimen 01		Espécimen 02		Espécimen 03	
Dial *0.001		Espécimen 01		Espécimen 02		Espécimen 03	
Deform. (mm)		Espécimen 01		Espécimen 02		Espécimen 03	
Expansión (%)		Espécimen 01		Espécimen 02		Espécimen 03	
Dial *0.001		Espécimen 01		Espécimen 02		Espécimen 03	
Deform. (mm)		Espécimen 01		Espécimen 02		Espécimen 03	
Expansión (%)		Espécimen 01		Espécimen 02		Espécimen 03	
Dial *0.001		Espécimen 01		Espécimen 02		Espécimen 03	
Deform. (mm)		Espécimen 01		Espécimen 02		Espécimen 03	
Expansión (%)		Espécimen 01		Espécimen 02		Espécimen 03	
Dial *0.001		Espécimen 01		Espécimen 02			

		FORMATO PARA LA RECOLECCIÓN DE DATOS UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL									
TESIS: "EVALUACIÓN COMPARATIVA DEL DISEÑO DE UN PAVIMENTO RÍGIDO CON SUBBASE TRATADA CON MÍNIMA CANTIDAD DE CEMENTO Y UNA SIN TRATAR, UTILIZANDO MATERIAL DE LA CANTERA DE QUILLAHUATA Y APLICADO A TRÁFICO VARIADO"											
ENSAYO DE CBR DE SUELO CEMENTO (MTC E 132)											
Muestra: CBR - SC - 03											
Densidad Seca Máxima (gr/cm3)	2.15										
Contenido de Humedad Óptimo (%)	7.00%										
Área del Pistón (cm2)	20.27										
DENSIDAD DE LA MUESTRA											
Descripción	Espécimen 01		Espécimen 02		Espécimen 03						
Número de Golpes por Capa	56		25		12						
Molde	M - 3		M - 2		M - 1						
Volumen de la Muestra Compactada (cm3)	2118.22		2121.96		2116.35						
Peso del Molde (gr)	7928		7940		6966						
Condición de la muestra	Sin sumergir	Sumergida	Sin sumergir	Sumergida	Sin sumergir	Sumergida					
Peso del Molde + Muestra Compactada (gr)	12792	12856	12557	12645	11428	11604					
Peso de la Muestra Compactada (gr)	4864	4928	4617	4705	4462	4638					
Densidad Seca (gr/cm3)	2.14		2.03		1.97						
Peso del Agua Absorbida (gr)	-	64	-	88	-	176					
Porcentaje de Absorción	-	1.41%	-	2.04%	-	4.22%					
CONTENIDO DE HUMEDAD											
Descripción	Espécimen 01		Espécimen 02		Espécimen 03						
Condición de la muestra	Sin sumergir	Sumergida	Sin sumergir	Sumergida	Sin sumergir	Sumergida					
Cápsula	A-2	T-17	T-6	T-12	T-8	T-22	T-25				
Peso Cápsula (gr)	67.2	69.2	69.4	70.5	69.5	67.5	67.8				
Peso de Muestra Húmeda + Cápsula (gr)	710.6	593.2	735.1	596.1	632.2	610.6	594.2				
Peso de Muestra Seca + Cápsula (gr)	668.2	558.6	680	561.6	596.1	628	574.7				
Peso Agua (gr)	42.4	34.6	55.1	34.5	36.1	65.3	35.9				
Peso Muestra Seca (gr)	601	489.4	610.6	491.1	526.6	507.2	491.5				
Contenido de Humedad (%)	7.05%	7.07%	9.02%	7.03%	6.86%	11.63%	7.08%				
Promedio (%)	7.06%		6.94%		7.09%		12.54%				
DATOS DEL ENSAYO DE EXPANSIÓN											
Fecha	Hora	Tiempo Transcurrido	Espécimen 01			Espécimen 02			Espécimen 03		
			Dial *0.001	Deform. (mm)	Expansión (%)	Dial *0.001	Deform. (mm)	Expansión (%)	Dial *0.001	Deform. (mm)	Expansión (%)
19/02/2018	12:30	00:00 hrs	0.0	0.000	0.00%	0.0	0.000	0.00%	0.0	0.000	0.00%
20/02/2018	14:40	26:10 hrs	0.0	0.000	0.00%	0.0	0.000	0.00%	0.0	0.000	0.00%
21/02/2018	12:00	47:30 hrs	0.0	0.000	0.00%	0.5	0.013	0.01%	0.5	0.013	0.01%
22/02/2018	12:15	71:45 hrs	1.0	0.025	0.02%	0.5	0.013	0.01%	1.0	0.025	0.02%
23/02/2018	10:00	93:30 hrs	1.0	0.025	0.02%	1.0	0.025	0.02%	1.0	0.025	0.02%
DATOS DEL ENSAYO DE PENETRACIÓN (CBR)											
Carga Unitaria Patrón (kg/cm2)	Dial *0.001"	Penetración (mm)	Espécimen 01			Espécimen 02			Espécimen 03		
			Fuerza (kg)	Esfuerzo (Kg/cm2)	CBR (%)	Fuerza (kg)	Esfuerzo (Kg/cm2)	CBR (%)	Fuerza (kg)	Esfuerzo (Kg/cm2)	CBR (%)
0	0.000	0.00	0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	0.00	
25	0.635	2554.30	126.01			1652.47	81.52		600.40	29.62	
50	1.270	3324.21	164.00			2495.60	123.12		1155.80	57.02	
75	1.905	3740.72	184.54			2857.01	140.95		1393.80	68.76	
70.31	100	2.540	4006.80	197.67	281.14%	3060.51	150.99	214.74%	1570.00	77.45	110.16%
125	3.175					3225.71	159.14		1683.80	83.07	
150	3.810					3360.69	165.80		1771.00	87.37	
105.46	200	5.080		0.00%		3573.68	176.30	167.18%	1926.50	95.04	90.12%
300	7.620					3873.86	191.11		2189.30	108.01	
400	10.160					4086.85	201.62		2357.30	116.30	
500	12.700								2518.80	124.26	
Curvas esfuerzo - penetración											
CBR en función de la densidad											
RESULTADOS											
Número de golpes	Densidad Seca	Expansión	Absorción	CBR	Densidad Seca Máxima (gr/cm3)	2.15 gr/cm3					
55	2.14 gr/cm3	0.02%	1.41%	281.14%	CBR al 100% de la DSM	283.86%					
25	2.03 gr/cm3	0.02%	2.04%	214.74%							
12	1.97 gr/cm3	0.02%	4.22%	110.16%							



Anexo 18 – Hoja de cálculo de la elaboración de testigos de suelo cemento para ensayo de velocidad de pulso ultrasónico

		FORMATO PARA LA RECOLECCIÓN DE DATOS UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL								
TESIS: "EVALUACIÓN COMPARATIVA DEL DISEÑO DE UN PAVIMENTO RÍGIDO CON SUBBASE TRATADA CON MÍNIMA CANTIDAD DE CEMENTO Y UNA SIN TRATAR, UTILIZANDO MATERIAL DE LA CANTERA DE QUILLAHUATA Y APLICADO A TRÁFICO VARIADO"										
ELABORACIÓN DE TESTIGOS PARA VELOCIDAD DE PULSO DE ULTRASONIDO (ASTM D1632 - ASTM D559)										
PORCENTAJE DE CEMENTO: 2%										
Densidad de la muestra										
Máxima densidad seca (gr/cm3)	2.15						Contenido de humedad óptimo		7.00%	
Espécimen	TSC - VU - 1	TSC - VU - 2	TSC - VU - 3	TSC - VU - 4	TSC - VU - 5	TSC - VU - 6				
Molde	1	1	1	1	1	1				
Volúmen del Molde (cm3)	942.18	942.18	942.18	942.18	942.18	942.18				
Peso Molde (gr)	4172.00	4172.00	4172.00	4172.00	4172.00	4172.00				
Peso Molde + Suelo Compactado (gr)	6340.00	6337.00	6343.00	6342.00	6339.00	6342.00				
Peso Suelo Compactado (gr)	2168.00	2165.00	2171.00	2170.00	2167.00	2170.00				
Densidad Húmeda (gr/cm3)	2.30	2.30	2.30	2.30	2.30	2.30				
Densidad Seca (gr/cm3)	2.15	2.15	2.15	2.15	2.15	2.15				
Grado de compactación (%)	99.86%	99.94%	100.08%	100.06%	100.11%	100.01%				
Contenido de Humedad										
Cápsula	T-13	T-18	T-16	T-28	T-2	T-4				
Peso Cápsula (gr)	66.94	68.75	69.71	65.84	67.72	67.78				
Peso de Muestra Húmeda + Cápsula (gr)	571.31	576.82	569.32	569.71	570.62	566.12				
Peso de Muestra Seca + Cápsula (gr)	537.55	543.84	536.27	536.48	538.35	533.02				
Peso Agua (gr)	33.76	32.98	33.05	33.23	32.27	33.10				
Peso Muestra Seca (gr)	470.61	475.09	466.56	470.64	470.63	465.24				
Contenido de Humedad (%)	7.17%	6.94%	7.08%	7.06%	6.86%	7.11%				
Diferencia en base al de diseño	0.17%	-0.06%	0.08%	0.06%	-0.14%	0.11%				
Resumen de Datos										
Espécimen	Diámetro (mm)				Altura (mm)		Volúmen (cm3)	Peso (gr)	Densidad (gr/cm3)	
TSC - VU - 1	101.60	101.40	101.70	101.60	116.70	116.80	946.06	2148.40	2.271	
TSC - VU - 2	101.60	101.60	101.50	101.60	116.70	116.50	944.85	2149.40	2.275	
TSC - VU - 3	101.70	101.70	101.60	101.70	116.80	116.80	948.33	2149.70	2.267	
TSC - VU - 4	101.60	101.60	101.60	101.70	116.80	116.70	947.00	2152.20	2.273	
TSC - VU - 5	101.70	101.60	101.70	101.60	116.60	116.80	947.06	2150.50	2.271	
TSC - VU - 6	101.60	101.60	101.60	101.70	116.50	116.50	944.97	2147.30	2.272	
	Promedio				116.7			Promedio	2.271	

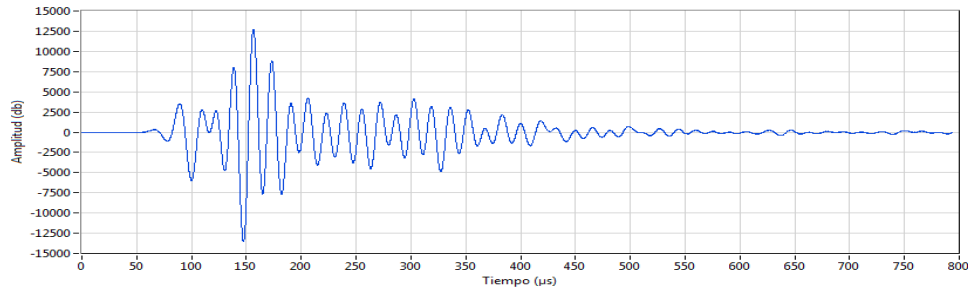
Anexo 19 – Señales de onda visualizadas con el software PL-Link

Name	Date & Time	Measurement Mode	Result	Distance	Velocity	Time1	Correction Fac...
TSC - VU - 01	03/02/2018 6:05 PM	E-Modulus	0.15 GPa	0.117 m	--	50.8 μ s*	1.00
		Settings & Results Distance: 0.117 m Density: 2271 kg/m ³ Poisson's Ratio: 0.4979 E-Modulus: 0.15 GPa		Device Information Device Name: Pundit Serial Number: UP01-001-0 Software Version: 2.0.10 Hardware Revision: C1			
Wave Time (μ s): 50.8 793.2 Velocity (m/s): 2303 148 Probe Type: P-wave Probe Freq. (kHz): 54 Probe Gain (x): 20 Pulse Voltage (V): 50 Calib. Time Offset (μ s): -3.0		Comment [Add]					
TSC - VU - 02	03/02/2018 6:12 PM	E-Modulus	0.15 GPa	0.117 m	--	65.3 μ s*	1.00
		Settings & Results Distance: 0.117 m Density: 2271 kg/m ³ Poisson's Ratio: 0.4958 E-Modulus: 0.15 GPa		Device Information Device Name: Pundit Serial Number: UP01-001-0 Software Version: 2.0.10 Hardware Revision: C1			
Wave Time (μ s): 65.3 793.2 Velocity (m/s): 1792 148 Probe Type: P-wave Probe Freq. (kHz): 54 Probe Gain (x): 500 Pulse Voltage (V): 200 Calib. Time Offset (μ s): -3.0		Comment [Add]					
TSC - VU - 03	03/02/2018 6:16 PM	E-Modulus	0.15 GPa	0.117 m	--	72.6 μ s*	1.00
		Settings & Results Distance: 0.117 m Density: 2271 kg/m ³ Poisson's Ratio: 0.4958 E-Modulus: 0.15 GPa		Device Information Device Name: Pundit Serial Number: UP01-001-0 Software Version: 2.0.10 Hardware Revision: C1			
Wave Time (μ s): 72.6 793.2 Velocity (m/s): 1612 148 Probe Type: P-wave Probe Freq. (kHz): 54 Probe Gain (x): 1000 Pulse Voltage (V): 200 Calib. Time Offset (μ s): -3.0		Comment [Add]					
TSC - VU - 04	03/02/2018 6:22 PM	E-Modulus	0.15 GPa	0.117 m	--	65.8 μ s*	1.00
		Settings & Results Distance: 0.117 m Density: 2271 kg/m ³ Poisson's Ratio: 0.4965 E-Modulus: 0.15 GPa		Device Information Device Name: Pundit Serial Number: UP01-001-0 Software Version: 2.0.10 Hardware Revision: C1			
Wave Time (μ s): 65.8 793.2 Velocity (m/s): 1777 148 Probe Type: P-wave Probe Freq. (kHz): 54 Probe Gain (x): 500 Pulse Voltage (V): 200 Calib. Time Offset (μ s): -3.0		Comment [Add]					
TSC - VU - 05	03/02/2018 6:31 PM	E-Modulus	0.15 GPa	0.117 m	--	67.1 μ s*	1.00
		Settings & Results Distance: 0.117 m Density: 2271 kg/m ³ Poisson's Ratio: 0.4964 E-Modulus: 0.15 GPa		Device Information Device Name: Pundit Serial Number: UP01-001-0 Software Version: 2.0.10 Hardware Revision: C1			
Wave Time (μ s): 67.1 793.2 Velocity (m/s): 1744 148 Probe Type: P-wave Probe Freq. (kHz): 54 Probe Gain (x): 500 Pulse Voltage (V): 200 Calib. Time Offset (μ s): -3.0		Comment [Add]					
TSC - VU - 06	03/02/2018 6:43 PM	E-Modulus	0.15 GPa	0.117 m	--	82.3 μ s*	1.00
		Settings & Results Distance: 0.117 m Density: 2271 kg/m ³ Poisson's Ratio: 0.4946 E-Modulus: 0.15 GPa		Device Information Device Name: Pundit Serial Number: UP01-001-0 Software Version: 2.0.10 Hardware Revision: C1			
Wave Time (μ s): 82.3 793.2 Velocity (m/s): 1422 148 Probe Type: P-wave Probe Freq. (kHz): 54 Probe Gain (x): 500 Pulse Voltage (V): 200 Calib. Time Offset (μ s): -3.0		Comment [Add]					

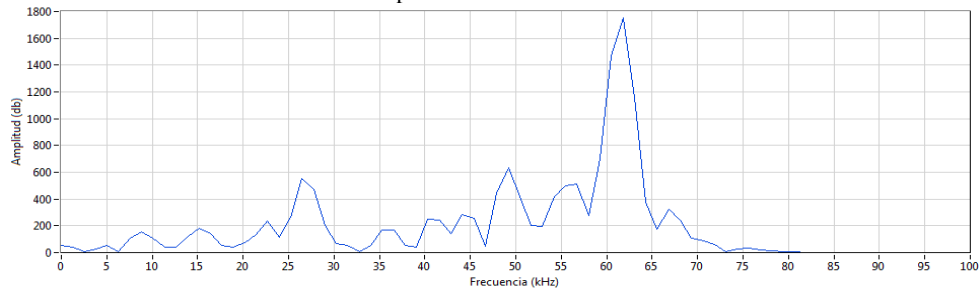
Anexo 20 – Procesamiento de ondas

Espécimen: TSC – VU – 01

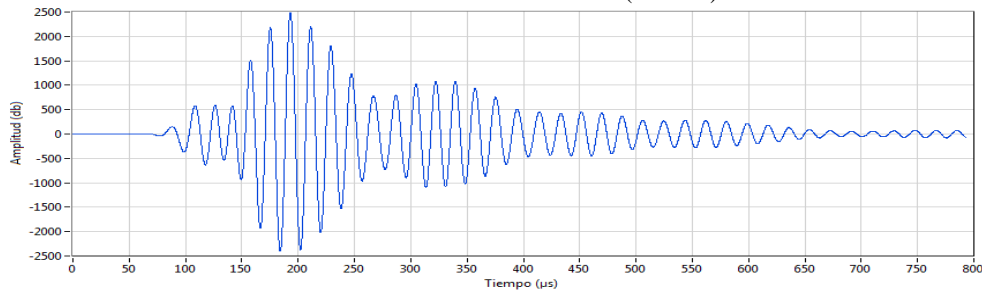
1.- Señal de onda



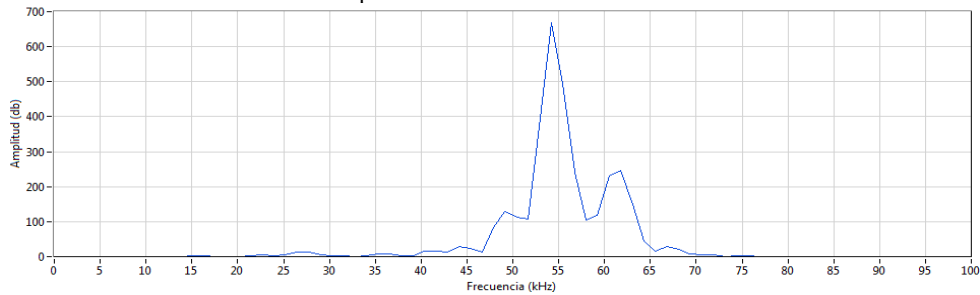
2.- Espectro de la señal de onda



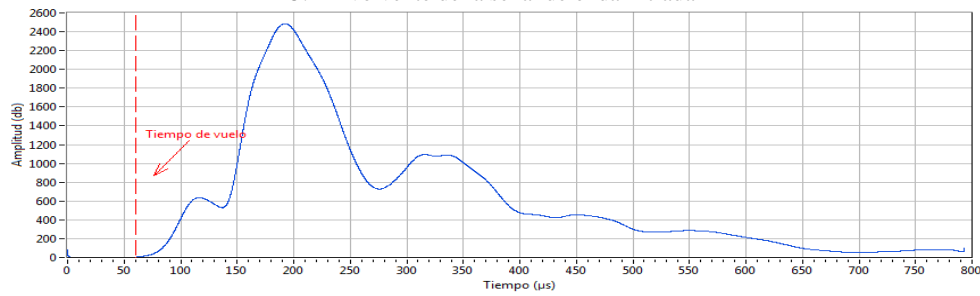
3.- Señal de onda filtrada en 54 kHz (\pm 1 kHz)



4.- Espectro de la señal de onda filtrada



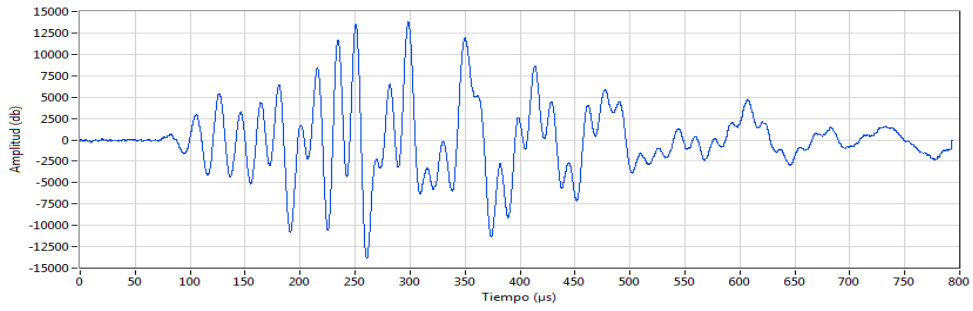
5.- Envoltora de la señal de onda filtrada



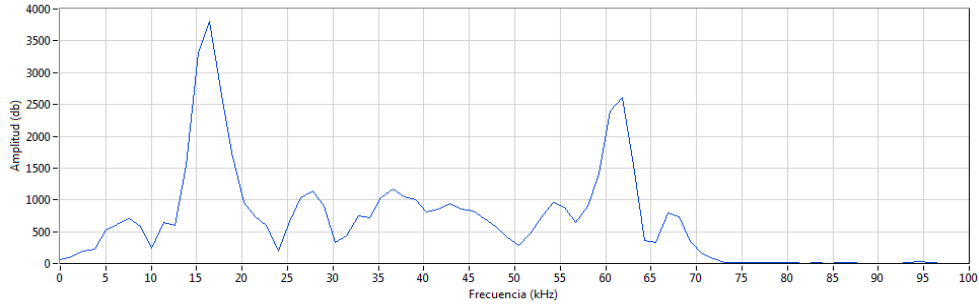
Tiempo de vuelo: 60 μ s

Espécimen: TSC – VU – 02

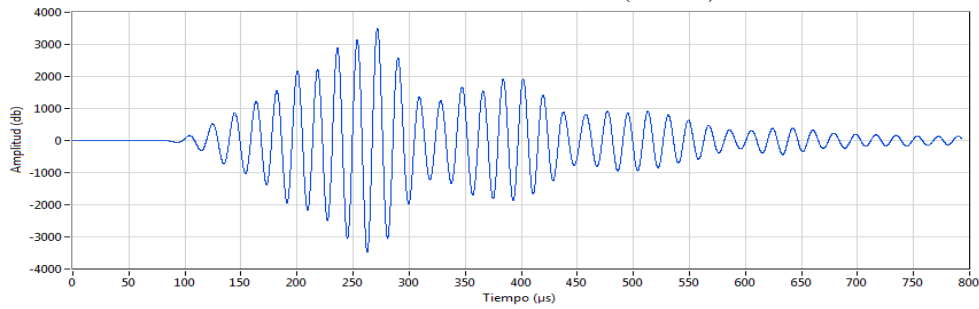
1.- Señal de onda



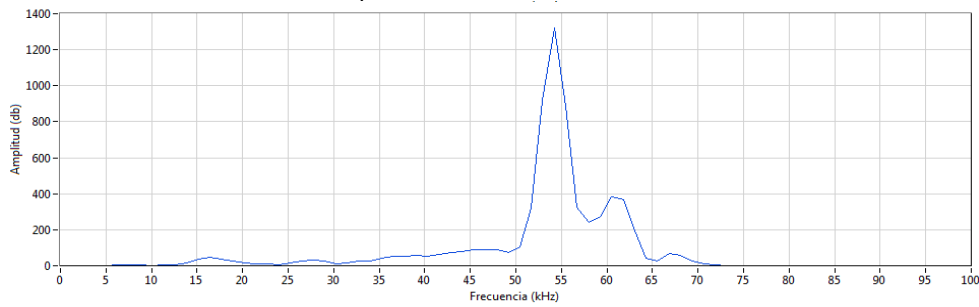
2.- Espectro de la señal de onda



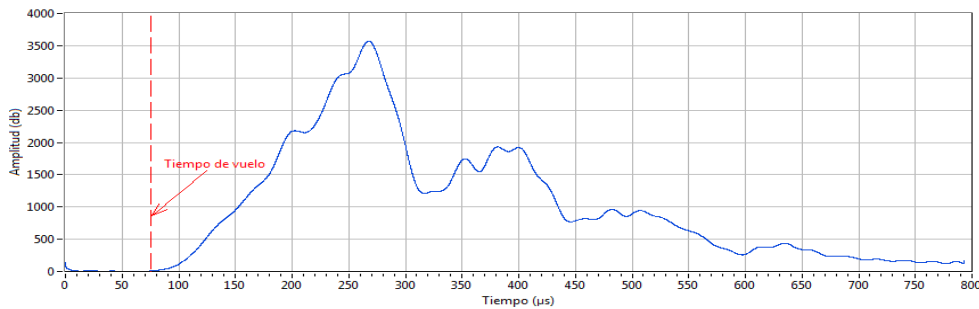
3.- Señal de onda filtrada en 54 kHz (± 1 kHz)



4.- Espectro de la señal de onda filtrada



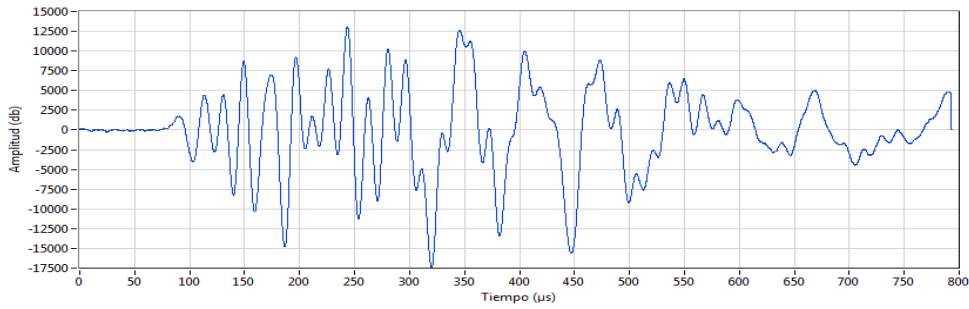
5.- Envoltora de la señal de onda filtrada



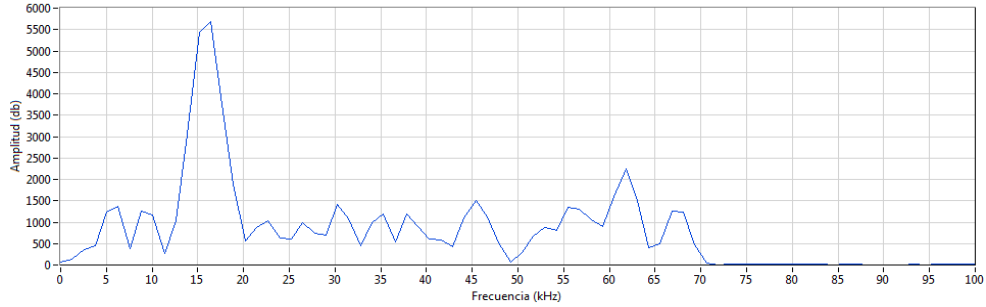
Tiempo de vuelo: 75 μs

Espécimen: TSC – VU – 03

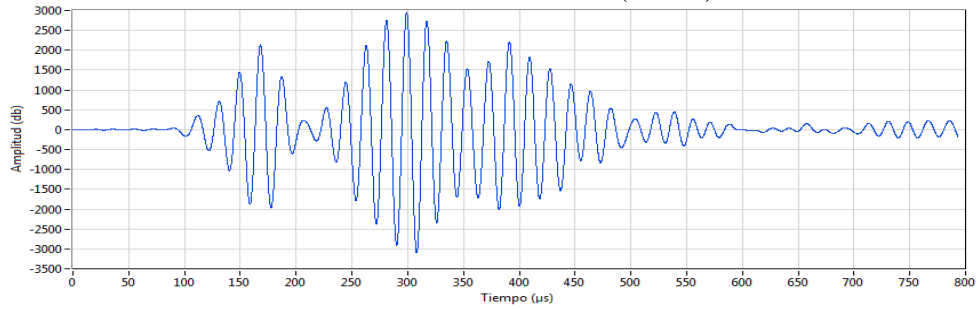
1.- Señal de onda



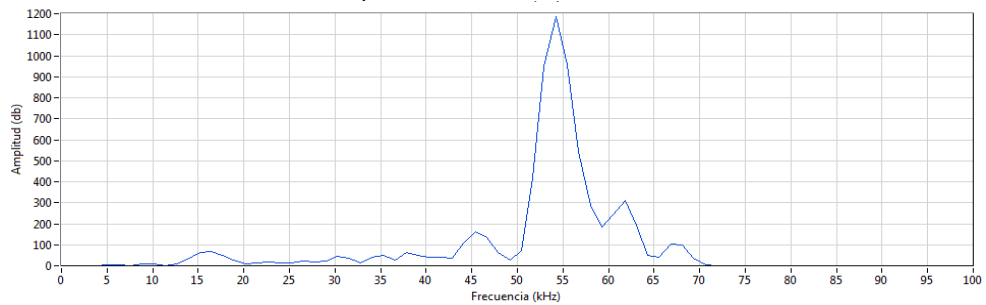
2.- Espectro de la señal de onda



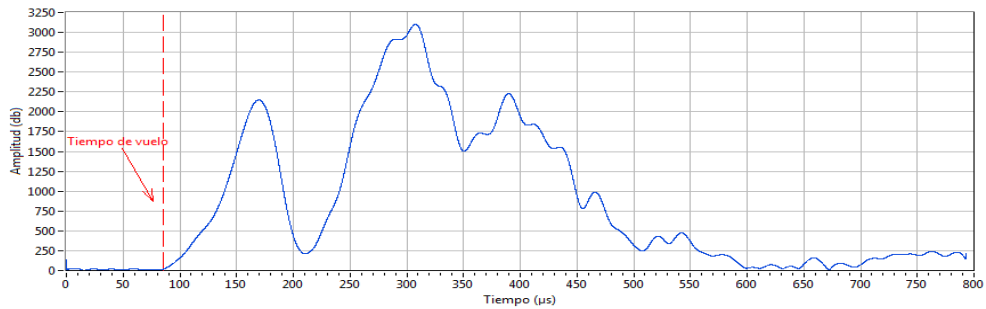
3.- Señal de onda filtrada en 54 kHz (± 1 kHz)



4.- Espectro de la señal de onda filtrada



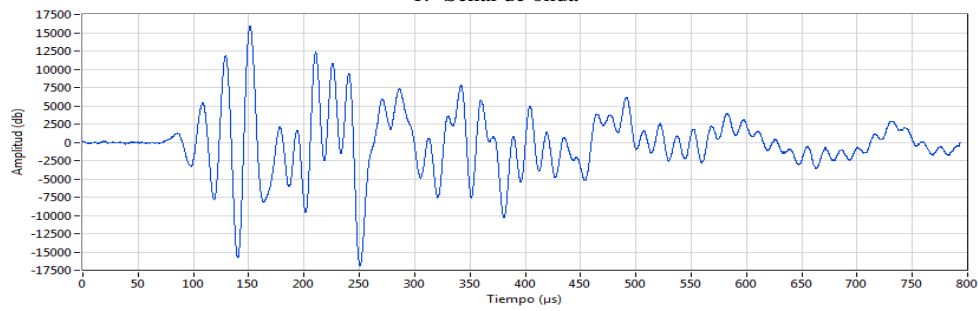
5.- Envoltora de la señal de onda filtrada



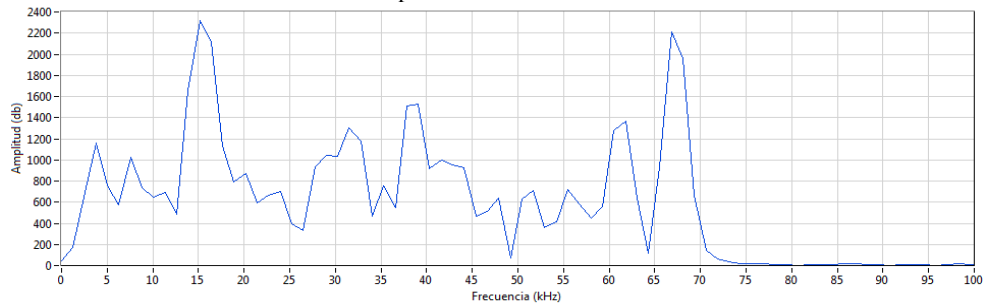
Tiempo de vuelo: 85 μs

Espécimen: TSC – VU – 04

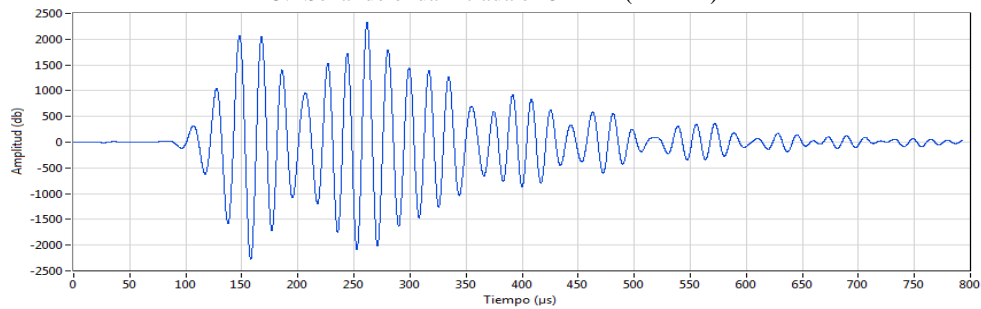
1.- Señal de onda



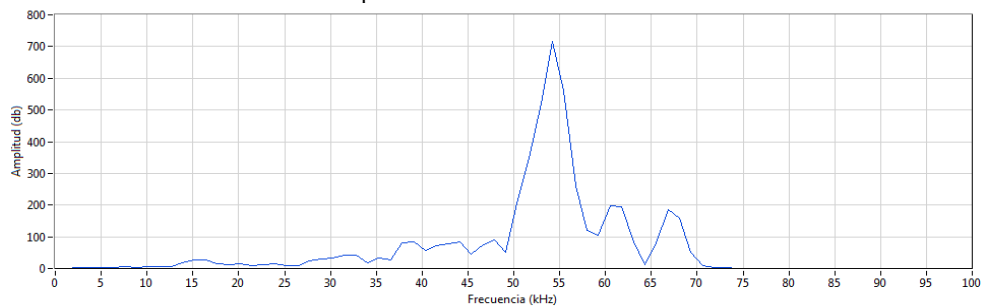
2.- Espectro de la señal de onda



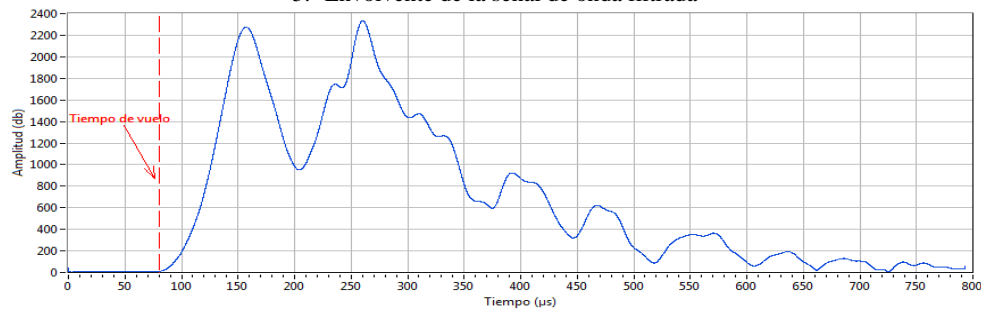
3.- Señal de onda filtrada en 54 kHz (± 1 kHz)



4.- Espectro de la señal de onda filtrada



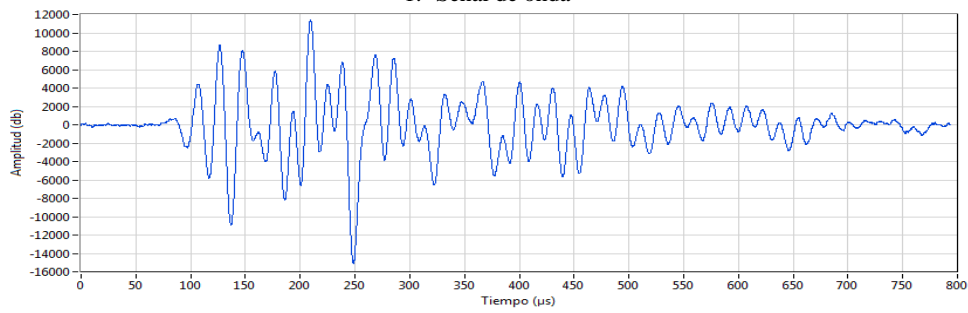
5.- Envoltora de la señal de onda filtrada



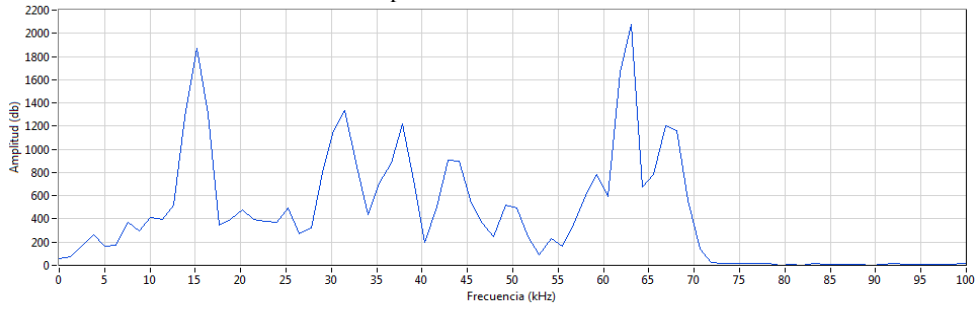
Tiempo de vuelo: 80 μs

Espécimen: TSC – VU – 05

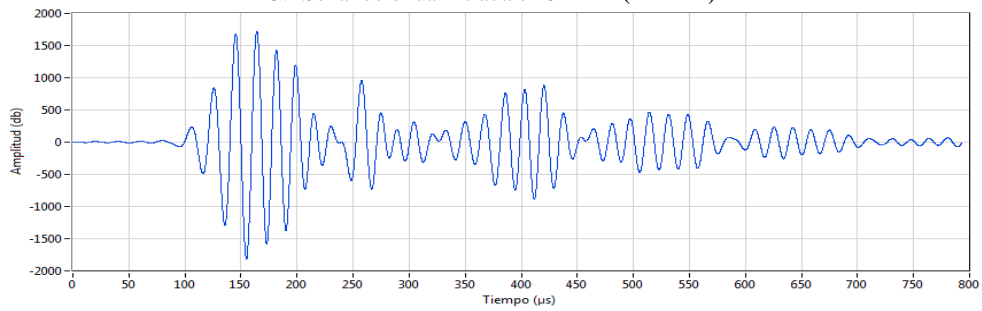
1.- Señal de onda



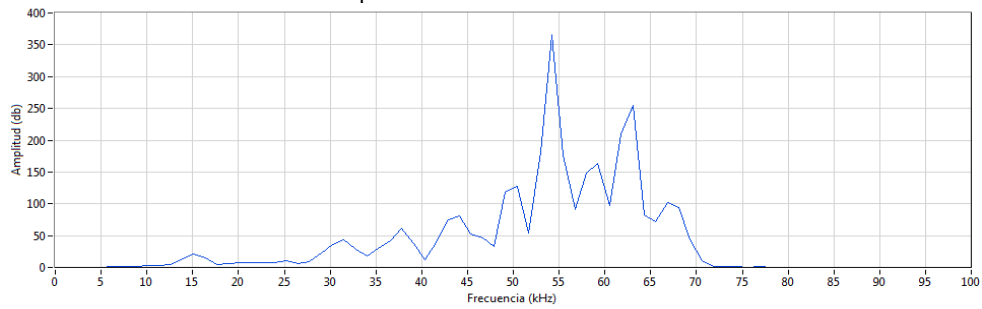
2.- Espectro de la señal de onda



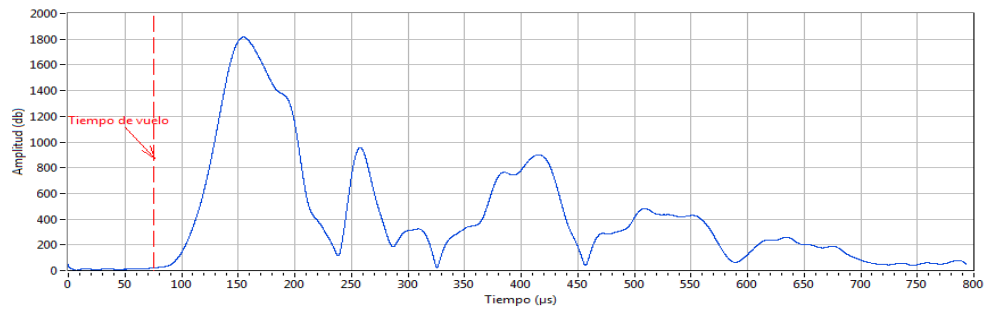
3.- Señal de onda filtrada en 54 kHz (± 1 kHz)



4.- Espectro de la señal de onda filtrada



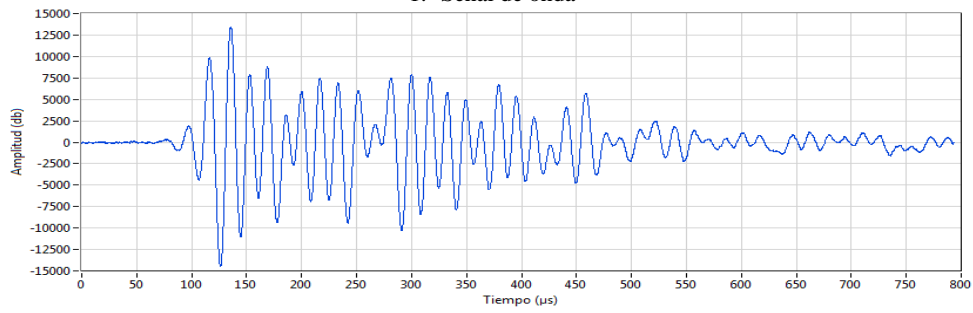
5.- Envoltora de la señal de onda filtrada



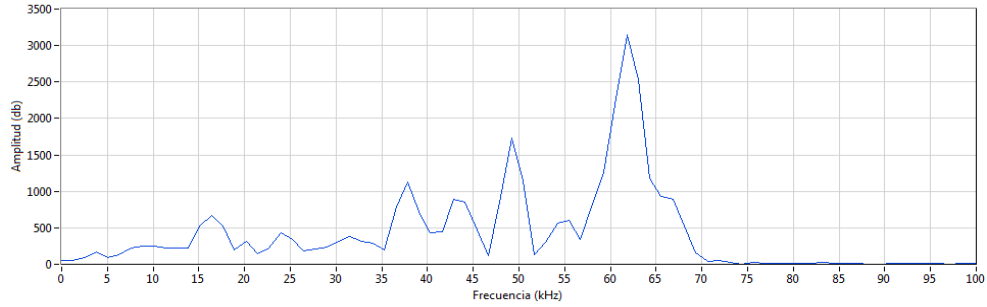
Tiempo de vuelo: 75 μs

Espécimen: TSC – VU – 06

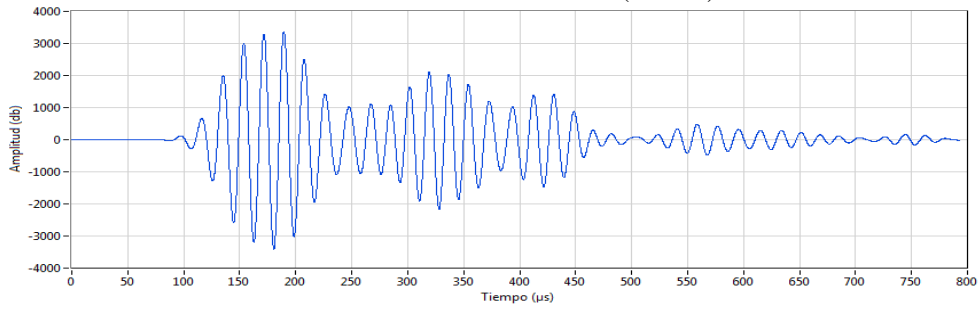
1.- Señal de onda



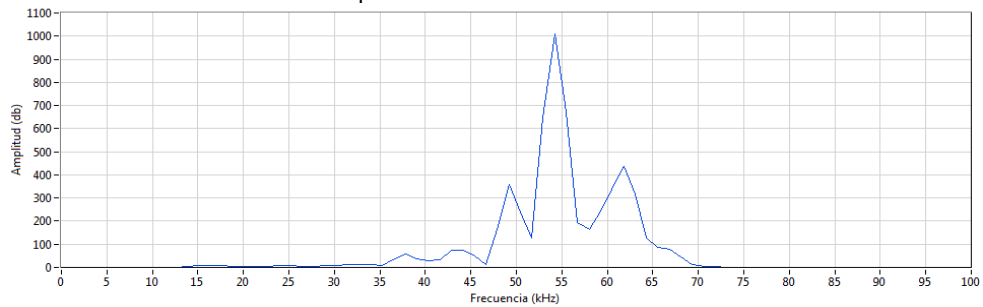
2.- Espectro de la señal de onda



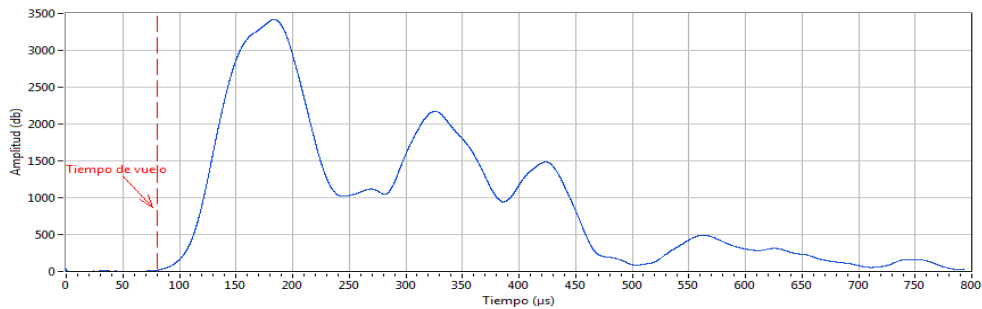
3.- Señal de onda filtrada en 54 kHz (± 1 kHz)



4.- Espectro de la señal de onda filtrada



5.- Envoltora de la señal de onda filtrada



Tiempo de vuelo: 80 μs



Anexo 21 – Diseños de pavimentos (análisis de sensibilidad del espesor de losa en función del tráfico)

Table with 12 columns: EE (W18), Zr, So, J, Cd, pt, APSI, Sc (MPa), Ec (MPa), kc(Mpa/m), Log(W18), Comparación, D (cm). Subbase de Suelo Natural.

Table with 12 columns: EE (W18), Zr, So, J, Cd, pt, APSI, Sc (MPa), Ec (MPa), kc(Mpa/m), Log(W18), Comparación, D (cm). Subbase de Suelo Cemento.



1,160,000	-1.036	0.35	3.2	0.9	2.5	1.8	3.67	21444.3	12.13	6.06446	6.06428	22.16
1,170,000	-1.036	0.35	3.2	0.9	2.5	1.8	3.67	21444.3	12.13	6.06819	6.06800	22.19
1,180,000	-1.036	0.35	3.2	0.9	2.5	1.8	3.67	21444.3	12.13	6.07188	6.07168	22.22
1,190,000	-1.036	0.35	3.2	0.9	2.5	1.8	3.67	21444.3	12.13	6.07555	6.07534	22.25
1,200,000	-1.036	0.35	3.2	0.9	2.5	1.8	3.67	21444.3	12.13	6.07918	6.07890	22.28
1,210,000	-1.036	0.35	3.2	0.9	2.5	1.8	3.67	21444.3	12.13	6.08279	6.08239	22.31
1,220,000	-1.036	0.35	3.2	0.9	2.5	1.8	3.67	21444.3	12.13	6.08636	6.08586	22.33
1,230,000	-1.036	0.35	3.2	0.9	2.5	1.8	3.67	21444.3	12.13	6.08991	6.08929	22.36
1,240,000	-1.036	0.35	3.2	0.9	2.5	1.8	3.67	21444.3	12.13	6.09342	6.09269	22.39
1,250,000	-1.036	0.35	3.2	0.9	2.5	1.8	3.67	21444.3	12.13	6.09691	6.09606	22.42
1,260,000	-1.036	0.35	3.2	0.9	2.5	1.8	3.67	21444.3	12.13	6.10037	6.09994	22.44
1,270,000	-1.036	0.35	3.2	0.9	2.5	1.8	3.67	21444.3	12.13	6.10380	6.10380	22.48
1,280,000	-1.036	0.35	3.2	0.9	2.5	1.8	3.67	21444.3	12.13	6.10721	6.10720	22.51
1,290,000	-1.036	0.35	3.2	0.9	2.5	1.8	3.67	21444.3	12.13	6.11059	6.11058	22.53
1,300,000	-1.036	0.35	3.2	0.9	2.5	1.8	3.67	21444.3	12.13	6.11394	6.11394	22.56
1,310,000	-1.036	0.35	3.2	0.9	2.5	1.8	3.67	21444.3	12.13	6.11727	6.11726	22.59
1,320,000	-1.036	0.35	3.2	0.9	2.5	1.8	3.67	21444.3	12.13	6.12057	6.12056	22.62
1,330,000	-1.036	0.35	3.2	0.9	2.5	1.8	3.67	21444.3	12.13	6.12385	6.12384	22.64
1,340,000	-1.036	0.35	3.2	0.9	2.5	1.8	3.67	21444.3	12.13	6.12710	6.12709	22.67
1,350,000	-1.036	0.35	3.2	0.9	2.5	1.8	3.67	21444.3	12.13	6.13033	6.13029	22.69
1,360,000	-1.036	0.35	3.2	0.9	2.5	1.8	3.67	21444.3	12.13	6.13354	6.13352	22.72
1,370,000	-1.036	0.35	3.2	0.9	2.5	1.8	3.67	21444.3	12.13	6.13672	6.13670	22.75
1,380,000	-1.036	0.35	3.2	0.9	2.5	1.8	3.67	21444.3	12.13	6.13988	6.13986	22.77
1,390,000	-1.036	0.35	3.2	0.9	2.5	1.8	3.67	21444.3	12.13	6.14301	6.14299	22.80
1,400,000	-1.036	0.35	3.2	0.9	2.5	1.8	3.67	21444.3	12.13	6.14613	6.14610	22.82
1,410,000	-1.036	0.35	3.2	0.9	2.5	1.8	3.67	21444.3	12.13	6.14922	6.14919	22.85
1,420,000	-1.036	0.35	3.2	0.9	2.5	1.8	3.67	21444.3	12.13	6.15229	6.15226	22.87
1,430,000	-1.036	0.35	3.2	0.9	2.5	1.8	3.67	21444.3	12.13	6.15534	6.15530	22.90
1,440,000	-1.036	0.35	3.2	0.9	2.5	1.8	3.67	21444.3	12.13	6.15836	6.15833	22.92
1,450,000	-1.036	0.35	3.2	0.9	2.5	1.8	3.67	21444.3	12.13	6.16137	6.16133	22.95
1,460,000	-1.036	0.35	3.2	0.9	2.5	1.8	3.67	21444.3	12.13	6.16435	6.16431	22.97
1,470,000	-1.036	0.35	3.2	0.9	2.5	1.8	3.67	21444.3	12.13	6.16732	6.16727	23.00
1,480,000	-1.036	0.35	3.2	0.9	2.5	1.8	3.67	21444.3	12.13	6.17026	6.17021	23.02
1,490,000	-1.036	0.35	3.2	0.9	2.5	1.8	3.67	21444.3	12.13	6.17319	6.17313	23.05
1,500,000	-1.036	0.35	3.2	0.9	2.5	1.8	3.67	21444.3	12.13	6.17609	6.17604	23.07
1,510,000	-1.036	0.35	3.2	0.9	2.5	1.8	3.67	21444.3	12.13	6.17898	6.17892	23.09
1,520,000	-1.036	0.35	3.2	0.9	2.5	1.8	3.67	21444.3	12.13	6.18184	6.18178	23.12
1,530,000	-1.036	0.35	3.2	0.9	2.5	1.8	3.67	21444.3	12.13	6.18469	6.18463	23.14
1,540,000	-1.036	0.35	3.2	0.9	2.5	1.8	3.67	21444.3	12.13	6.18752	6.18745	23.16
1,550,000	-1.036	0.35	3.2	0.9	2.5	1.8	3.67	21444.3	12.13	6.19033	6.19026	23.19
1,560,000	-1.036	0.35	3.2	0.9	2.5	1.8	3.67	21444.3	12.13	6.19312	6.19305	23.21
1,570,000	-1.036	0.35	3.2	0.9	2.5	1.8	3.67	21444.3	12.13	6.19590	6.19582	23.23
1,580,000	-1.036	0.35	3.2	0.9	2.5	1.8	3.67	21444.3	12.13	6.19866	6.19857	23.26
1,590,000	-1.036	0.35	3.2	0.9	2.5	1.8	3.67	21444.3	12.13	6.20140	6.20131	23.28
1,600,000	-1.036	0.35	3.2	0.9	2.5	1.8	3.67	21444.3	12.13	6.20412	6.20402	23.30
1,610,000	-1.036	0.35	3.2	0.9	2.5	1.8	3.67	21444.3	12.13	6.20683	6.20673	23.32
1,620,000	-1.036	0.35	3.2	0.9	2.5	1.8	3.67	21444.3	12.13	6.20952	6.20943	23.35
1,630,000	-1.036	0.35	3.2	0.9	2.5	1.8	3.67	21444.3	12.13	6.21219	6.21208	23.37
1,640,000	-1.036	0.35	3.2	0.9	2.5	1.8	3.67	21444.3	12.13	6.21484	6.21473	23.39
1,650,000	-1.036	0.35	3.2	0.9	2.5	1.8	3.67	21444.3	12.13	6.21748	6.21736	23.41
1,660,000	-1.036	0.35	3.2	0.9	2.5	1.8	3.67	21444.3	12.13	6.22011	6.21998	23.44
1,670,000	-1.036	0.35	3.2	0.9	2.5	1.8	3.67	21444.3	12.13	6.22272	6.22259	23.46
1,680,000	-1.036	0.35	3.2	0.9	2.5	1.8	3.67	21444.3	12.13	6.22531	6.22517	23.48
1,690,000	-1.036	0.35	3.2	0.9	2.5	1.8	3.67	21444.3	12.13	6.22789	6.22775	23.50
1,700,000	-1.036	0.35	3.2	0.9	2.5	1.8	3.67	21444.3	12.13	6.23045	6.23030	23.52
1,710,000	-1.036	0.35	3.2	0.9	2.5	1.8	3.67	21444.3	12.13	6.23300	6.23284	23.54
1,720,000	-1.036	0.35	3.2	0.9	2.5	1.8	3.67	21444.3	12.13	6.23553	6.23537	23.56
1,730,000	-1.036	0.35	3.2	0.9	2.5	1.8	3.67	21444.3	12.13	6.23805	6.23788	23.59
1,740,000	-1.036	0.35	3.2	0.9	2.5	1.8	3.67	21444.3	12.13	6.24055	6.24038	23.61
1,750,000	-1.036	0.35	3.2	0.9	2.5	1.8	3.67	21444.3	12.13	6.24304	6.24286	23.63
1,760,000	-1.036	0.35	3.2	0.9	2.5	1.8	3.67	21444.3	12.13	6.24551	6.24533	23.65
1,770,000	-1.036	0.35	3.2	0.9	2.5	1.8	3.67	21444.3	12.13	6.24797	6.24778	23.67
1,780,000	-1.036	0.35	3.2	0.9	2.5	1.8	3.67	21444.3	12.13	6.25042	6.25023	23.69
1,790,000	-1.036	0.35	3.2	0.9	2.5	1.8	3.67	21444.3	12.13	6.25285	6.25265	23.71
1,800,000	-1.036	0.35	3.2	0.9	2.5	1.8	3.67	21444.3	12.13	6.25527	6.25506	23.73
1,810,000	-1.036	0.35	3.2	0.9	2.5	1.8	3.67	21444.3	12.13	6.25768	6.25746	23.75
1,820,000	-1.036	0.35	3.2	0.9	2.5	1.8	3.67	21444.3	12.13	6.26007	6.25985	23.77
1,830,000	-1.036	0.35	3.2	0.9	2.5	1.8	3.67	21444.3	12.13	6.26245	6.26222	23.79
1,840,000	-1.036	0.35	3.2	0.9	2.5	1.8	3.67	21444.3	12.13	6.26482	6.26458	23.81
1,850,000	-1.036	0.35	3.2	0.9	2.5	1.8	3.67	21444.3	12.13	6.26717	6.26693	23.83
1,860,000	-1.036	0.35	3.2	0.9	2.5	1.8	3.67	21444.3	12.13	6.26951	6.26926	23.85
1,870,000	-1.036	0.35	3.2	0.9	2.5	1.8	3.67	21444.3	12.13	6.27184	6.27158	23.87
1,880,000	-1.036	0.35	3.2	0.9	2.5	1.8	3.67	21444.3	12.13	6.27416	6.27388	23.89
1,890,000	-1.036	0.35	3.2	0.9	2.5	1.8	3.67	21444.3	12.13	6.27646	6.27618	23.91
1,900,000	-1.036	0.35	3.2	0.9	2.5	1.8	3.67	21444.3	12.13	6.27875	6.27847	23.93
1,910,000	-1.036	0.35	3.2	0.9	2.5	1.8	3.67	21444.3	12.13	6.28103	6.28074	23.95
1,920,000	-1.036	0.35	3.2	0.9	2.5	1.8	3.67	21444.3	12.13	6.28330	6.28299	23.97
1,930,000	-1.036	0.35	3.2	0.9	2.5	1.8	3.67	21444.3	12.13	6.28556	6.28525	23.99
1,940,000	-1.036	0.35	3.2	0.9	2.5	1.8	3.67	21444.3	12.13	6.28780	6.28749	24.00
1,950,000	-1.036	0.35	3.2	0.9	2.5	1.8	3.67	21444.3	12.13	6.29003	6.28971	24.02
1,960,000	-1.036	0.35	3.2	0.9	2.5	1.8	3.67	21444.3	12.13	6.29226	6.29189	24.04
1,970,000	-1.036	0.35	3.2	0.9	2.5	1.8	3.67	21444.3	12.13	6.29447	6.29403	24.06
1,980,000	-1.036	0.35	3.2	0.9	2.5	1.8	3.67	21444.3	12.13	6.29667	6.29623	24.08
1,990,000	-1.036	0.35	3.2	0.9	2.5	1.8	3.67	21444.3	12.13	6.29885	6.29850	24.10
2,000,000	-1.036	0.35	3.2	0.9	2.5	1.8	3.67	21444.3	12.13	6.30103	6.30067	24.12
2,010,000	-1.036	0.35	3.2	0.9	2.5	1.8	3.67	21444.3	12.13	6.30320	6.30282	24.13
2,020,000	-1.036	0.35	3.2	0.9	2.5	1.8	3.67	21444.3	12.13	6.30535	6.30497	24.15
2,030,000	-1.036	0.35	3.2	0.9	2.5	1.8	3.67	21444.3	12.13	6.30750	6.30711	24.17
2,040,000	-1.036	0.35	3.2	0.9	2.5	1.8	3.67	21444.3	12.13	6.30963	6.30923	24.19
2,050,000	-1.036	0.35	3.2	0.9	2.5	1.8	3.67	21444.3	12.13	6.31175	6.31135	24.21
2,060,000	-1.036	0.35	3.2	0.9	2.5	1.8	3.67					



2,310,000	-1.036	0.35	3.2	0.9	2.5	1.8	3.67	21444.3	12.13	6.36361	6.36294	24.65
2,320,000	-1.036	0.35	3.2	0.9	2.5	1.8	3.67	21444.3	12.13	6.36549	6.36481	24.67
2,330,000	-1.036	0.35	3.2	0.9	2.5	1.8	3.67	21444.3	12.13	6.36736	6.36666	24.68
2,340,000	-1.036	0.35	3.2	0.9	2.5	1.8	3.67	21444.3	12.13	6.36922	6.36851	24.70
2,350,000	-1.036	0.35	3.2	0.9	2.5	1.8	3.67	21444.3	12.13	6.37107	6.37035	24.72
2,360,000	-1.036	0.35	3.2	0.9	2.5	1.8	3.67	21444.3	12.13	6.37291	6.37219	24.73
2,370,000	-1.036	0.35	3.2	0.9	2.5	1.8	3.67	21444.3	12.13	6.37475	6.37401	24.75
2,380,000	-1.036	0.35	3.2	0.9	2.5	1.8	3.67	21444.3	12.13	6.37658	6.37583	24.76
2,390,000	-1.036	0.35	3.2	0.9	2.5	1.8	3.67	21444.3	12.13	6.37840	6.37764	24.78
2,400,000	-1.036	0.35	3.2	0.9	2.5	1.8	3.67	21444.3	12.13	6.38021	6.37944	24.80
2,410,000	-1.036	0.35	3.2	0.9	2.5	1.8	3.67	21444.3	12.13	6.38202	6.38123	24.81
2,420,000	-1.036	0.35	3.2	0.9	2.5	1.8	3.67	21444.3	12.13	6.38382	6.38302	24.83
2,430,000	-1.036	0.35	3.2	0.9	2.5	1.8	3.67	21444.3	12.13	6.38561	6.38480	24.84
2,440,000	-1.036	0.35	3.2	0.9	2.5	1.8	3.67	21444.3	12.13	6.38739	6.38657	24.86
2,450,000	-1.036	0.35	3.2	0.9	2.5	1.8	3.67	21444.3	12.13	6.38917	6.38833	24.87
2,460,000	-1.036	0.35	3.2	0.9	2.5	1.8	3.67	21444.3	12.13	6.39094	6.39009	24.89
2,470,000	-1.036	0.35	3.2	0.9	2.5	1.8	3.67	21444.3	12.13	6.39270	6.39184	24.90
2,480,000	-1.036	0.35	3.2	0.9	2.5	1.8	3.67	21444.3	12.13	6.39445	6.39358	24.92
2,490,000	-1.036	0.35	3.2	0.9	2.5	1.8	3.67	21444.3	12.13	6.39620	6.39532	24.93
2,500,000	-1.036	0.35	3.2	0.9	2.5	1.8	3.67	21444.3	12.13	6.39794	6.39705	24.95
2,510,000	-1.036	0.35	3.2	0.9	2.5	1.8	3.67	21444.3	12.13	6.39967	6.39877	24.96
2,520,000	-1.036	0.35	3.2	0.9	2.5	1.8	3.67	21444.3	12.13	6.40140	6.40048	24.98
2,530,000	-1.036	0.35	3.2	0.9	2.5	1.8	3.67	21444.3	12.13	6.40312	6.40219	24.99
2,540,000	-1.036	0.35	3.2	0.9	2.5	1.8	3.67	21444.3	12.13	6.40483	6.40389	25.01
2,550,000	-1.036	0.35	3.2	0.9	2.5	1.8	3.67	21444.3	12.13	6.40654	6.40558	25.02
2,560,000	-1.036	0.35	3.2	0.9	2.5	1.8	3.67	21444.3	12.13	6.40824	6.40727	25.04
2,570,000	-1.036	0.35	3.2	0.9	2.5	1.8	3.67	21444.3	12.13	6.40993	6.40895	25.05
2,580,000	-1.036	0.35	3.2	0.9	2.5	1.8	3.67	21444.3	12.13	6.41162	6.41063	25.07
2,590,000	-1.036	0.35	3.2	0.9	2.5	1.8	3.67	21444.3	12.13	6.41330	6.41330	25.09
2,600,000	-1.036	0.35	3.2	0.9	2.5	1.8	3.67	21444.3	12.13	6.41497	6.41497	25.11
2,610,000	-1.036	0.35	3.2	0.9	2.5	1.8	3.67	21444.3	12.13	6.41664	6.41664	25.12
2,620,000	-1.036	0.35	3.2	0.9	2.5	1.8	3.67	21444.3	12.13	6.41830	6.41830	25.14
2,630,000	-1.036	0.35	3.2	0.9	2.5	1.8	3.67	21444.3	12.13	6.41996	6.41996	25.15
2,640,000	-1.036	0.35	3.2	0.9	2.5	1.8	3.67	21444.3	12.13	6.42160	6.42160	25.17
2,650,000	-1.036	0.35	3.2	0.9	2.5	1.8	3.67	21444.3	12.13	6.42323	6.42324	25.18
2,660,000	-1.036	0.35	3.2	0.9	2.5	1.8	3.67	21444.3	12.13	6.42488	6.42488	25.19
2,670,000	-1.036	0.35	3.2	0.9	2.5	1.8	3.67	21444.3	12.13	6.42651	6.42651	25.21
2,680,000	-1.036	0.35	3.2	0.9	2.5	1.8	3.67	21444.3	12.13	6.42813	6.42813	25.22
2,690,000	-1.036	0.35	3.2	0.9	2.5	1.8	3.67	21444.3	12.13	6.42975	6.42975	25.24
2,700,000	-1.036	0.35	3.2	0.9	2.5	1.8	3.67	21444.3	12.13	6.43136	6.43136	25.25
2,710,000	-1.036	0.35	3.2	0.9	2.5	1.8	3.67	21444.3	12.13	6.43297	6.43297	25.27
2,720,000	-1.036	0.35	3.2	0.9	2.5	1.8	3.67	21444.3	12.13	6.43457	6.43457	25.28
2,730,000	-1.036	0.35	3.2	0.9	2.5	1.8	3.67	21444.3	12.13	6.43616	6.43616	25.29
2,740,000	-1.036	0.35	3.2	0.9	2.5	1.8	3.67	21444.3	12.13	6.43775	6.43775	25.31
2,750,000	-1.036	0.35	3.2	0.9	2.5	1.8	3.67	21444.3	12.13	6.43933	6.43933	25.32
2,760,000	-1.036	0.35	3.2	0.9	2.5	1.8	3.67	21444.3	12.13	6.44091	6.44090	25.34
2,770,000	-1.036	0.35	3.2	0.9	2.5	1.8	3.67	21444.3	12.13	6.44248	6.44248	25.35
2,780,000	-1.036	0.35	3.2	0.9	2.5	1.8	3.67	21444.3	12.13	6.44404	6.44404	25.36
2,790,000	-1.036	0.35	3.2	0.9	2.5	1.8	3.67	21444.3	12.13	6.44560	6.44560	25.38
2,800,000	-1.036	0.35	3.2	0.9	2.5	1.8	3.67	21444.3	12.13	6.44716	6.44715	25.39
2,810,000	-1.036	0.35	3.2	0.9	2.5	1.8	3.67	21444.3	12.13	6.44871	6.44870	25.40
2,820,000	-1.036	0.35	3.2	0.9	2.5	1.8	3.67	21444.3	12.13	6.45025	6.45025	25.42
2,830,000	-1.036	0.35	3.2	0.9	2.5	1.8	3.67	21444.3	12.13	6.45179	6.45178	25.43
2,840,000	-1.036	0.35	3.2	0.9	2.5	1.8	3.67	21444.3	12.13	6.45332	6.45331	25.45
2,850,000	-1.036	0.35	3.2	0.9	2.5	1.8	3.67	21444.3	12.13	6.45484	6.45484	25.46
2,860,000	-1.036	0.35	3.2	0.9	2.5	1.8	3.67	21444.3	12.13	6.45637	6.45636	25.47
2,870,000	-1.036	0.35	3.2	0.9	2.5	1.8	3.67	21444.3	12.13	6.45788	6.45788	25.49
2,880,000	-1.036	0.35	3.2	0.9	2.5	1.8	3.67	21444.3	12.13	6.45939	6.45939	25.50
2,890,000	-1.036	0.35	3.2	0.9	2.5	1.8	3.67	21444.3	12.13	6.46090	6.46089	25.51
2,900,000	-1.036	0.35	3.2	0.9	2.5	1.8	3.67	21444.3	12.13	6.46240	6.46239	25.53
2,910,000	-1.036	0.35	3.2	0.9	2.5	1.8	3.67	21444.3	12.13	6.46389	6.46389	25.54
2,920,000	-1.036	0.35	3.2	0.9	2.5	1.8	3.67	21444.3	12.13	6.46538	6.46538	25.55
2,930,000	-1.036	0.35	3.2	0.9	2.5	1.8	3.67	21444.3	12.13	6.46687	6.46686	25.57
2,940,000	-1.036	0.35	3.2	0.9	2.5	1.8	3.67	21444.3	12.13	6.46835	6.46834	25.58
2,950,000	-1.036	0.35	3.2	0.9	2.5	1.8	3.67	21444.3	12.13	6.46982	6.46982	25.59
2,960,000	-1.036	0.35	3.2	0.9	2.5	1.8	3.67	21444.3	12.13	6.47129	6.47129	25.61
2,970,000	-1.036	0.35	3.2	0.9	2.5	1.8	3.67	21444.3	12.13	6.47276	6.47275	25.62
2,980,000	-1.036	0.35	3.2	0.9	2.5	1.8	3.67	21444.3	12.13	6.47422	6.47421	25.63
2,990,000	-1.036	0.35	3.2	0.9	2.5	1.8	3.67	21444.3	12.13	6.47567	6.47566	25.65
3,000,000	-1.036	0.35	3.2	0.9	2.5	1.8	3.67	21444.3	12.13	6.47712	6.47711	25.66
3,010,000	-1.036	0.35	3.2	0.9	2.5	1.8	3.67	21444.3	12.13	6.47857	6.47856	25.67
3,020,000	-1.036	0.35	3.2	0.9	2.5	1.8	3.67	21444.3	12.13	6.48001	6.48000	25.68
3,030,000	-1.036	0.35	3.2	0.9	2.5	1.8	3.67	21444.3	12.13	6.48144	6.48144	25.70
3,040,000	-1.036	0.35	3.2	0.9	2.5	1.8	3.67	21444.3	12.13	6.48287	6.48287	25.71
3,050,000	-1.036	0.35	3.2	0.9	2.5	1.8	3.67	21444.3	12.13	6.48430	6.48429	25.72
3,060,000	-1.036	0.35	3.2	0.9	2.5	1.8	3.67	21444.3	12.13	6.48572	6.48571	25.74
3,070,000	-1.036	0.35	3.2	0.9	2.5	1.8	3.67	21444.3	12.13	6.48714	6.48713	25.75
3,080,000	-1.036	0.35	3.2	0.9	2.5	1.8	3.67	21444.3	12.13	6.48855	6.48854	25.76
3,090,000	-1.036	0.35	3.2	0.9	2.5	1.8	3.67	21444.3	12.13	6.48996	6.48995	25.77
3,100,000	-1.036	0.35	3.2	0.9	2.5	1.8	3.67	21444.3	12.13	6.49136	6.49136	25.79
3,110,000	-1.036	0.35	3.2	0.9	2.5	1.8	3.67	21444.3	12.13	6.49276	6.49276	25.80
3,120,000	-1.036	0.35	3.2	0.9	2.5	1.8	3.67	21444.3	12.13	6.49415	6.49415	25.81
3,130,000	-1.036	0.35	3.2	0.9	2.5	1.8	3.67	21444.3	12.13	6.49554	6.49554	25.82
3,140,000	-1.036	0.35	3.2	0.9	2.5	1.8	3.67	21444.3	12.13	6.49693	6.49692	25.84
3,150,000	-1.036	0.35	3.2	0.9	2.5	1.8	3.67	21444.3	12.13	6.49831	6.49831	25.85
3,160,000	-1.036	0.35	3.2	0.9	2.5	1.8	3.67	21444.3	12.13	6.49969	6.49968	25.86
3,170,000	-1.036	0.35	3.2	0.9	2.5	1.8	3.67	21444.3	12.13	6.50106	6.50105	25.87
3,180,000	-1.036	0.35	3.2	0.9	2.5	1.8	3.67	21444.3	12.13	6.50243	6.50242	25.89
3,190,000	-1.036	0.35	3.2	0.9	2.5	1.8	3.67	21444.3	12.13	6.50379	6.50378	25.90
3,200,000	-1.036	0.35	3.2	0.9	2.5	1.8	3.67	21444.3	12.13	6.50515	6.50514	25.91
3,210,000	-1.036	0.35	3.2	0.9	2.5	1.8	3					



3,460,000	-1.036	0.35	3.2	0.9	2.5	1.8	3.67	21444.3	12.13	6.53908	6.53906	26.22
3,470,000	-1.036	0.35	3.2	0.9	2.5	1.8	3.67	21444.3	12.13	6.54033	6.54032	26.23
3,480,000	-1.036	0.35	3.2	0.9	2.5	1.8	3.67	21444.3	12.13	6.54158	6.54157	26.24
3,490,000	-1.036	0.35	3.2	0.9	2.5	1.8	3.67	21444.3	12.13	6.54283	6.54281	26.25
3,500,000	-1.036	0.35	3.2	0.9	2.5	1.8	3.67	21444.3	12.13	6.54407	6.54405	26.26
3,510,000	-1.036	0.35	3.2	0.9	2.5	1.8	3.67	21444.3	12.13	6.54531	6.54529	26.28
3,520,000	-1.036	0.35	3.2	0.9	2.5	1.8	3.67	21444.3	12.13	6.54654	6.54653	26.29
3,530,000	-1.036	0.35	3.2	0.9	2.5	1.8	3.67	21444.3	12.13	6.54777	6.54776	26.30
3,540,000	-1.036	0.35	3.2	0.9	2.5	1.8	3.67	21444.3	12.13	6.54900	6.54899	26.31
3,550,000	-1.036	0.35	3.2	0.9	2.5	1.8	3.67	21444.3	12.13	6.55023	6.55021	26.32
3,560,000	-1.036	0.35	3.2	0.9	2.5	1.8	3.67	21444.3	12.13	6.55146	6.55144	26.33
3,570,000	-1.036	0.35	3.2	0.9	2.5	1.8	3.67	21444.3	12.13	6.55269	6.55266	26.34
3,580,000	-1.036	0.35	3.2	0.9	2.5	1.8	3.67	21444.3	12.13	6.55392	6.55389	26.35
3,590,000	-1.036	0.35	3.2	0.9	2.5	1.8	3.67	21444.3	12.13	6.55515	6.55512	26.36
3,600,000	-1.036	0.35	3.2	0.9	2.5	1.8	3.67	21444.3	12.13	6.55638	6.55635	26.38
3,610,000	-1.036	0.35	3.2	0.9	2.5	1.8	3.67	21444.3	12.13	6.55761	6.55758	26.39
3,620,000	-1.036	0.35	3.2	0.9	2.5	1.8	3.67	21444.3	12.13	6.55884	6.55881	26.40
3,630,000	-1.036	0.35	3.2	0.9	2.5	1.8	3.67	21444.3	12.13	6.55999	6.55996	26.41
3,640,000	-1.036	0.35	3.2	0.9	2.5	1.8	3.67	21444.3	12.13	6.56113	6.56109	26.42
3,650,000	-1.036	0.35	3.2	0.9	2.5	1.8	3.67	21444.3	12.13	6.56227	6.56223	26.43
3,660,000	-1.036	0.35	3.2	0.9	2.5	1.8	3.67	21444.3	12.13	6.56341	6.56337	26.44
3,670,000	-1.036	0.35	3.2	0.9	2.5	1.8	3.67	21444.3	12.13	6.56455	6.56451	26.45
3,680,000	-1.036	0.35	3.2	0.9	2.5	1.8	3.67	21444.3	12.13	6.56569	6.56565	26.46
3,690,000	-1.036	0.35	3.2	0.9	2.5	1.8	3.67	21444.3	12.13	6.56683	6.56679	26.47
3,700,000	-1.036	0.35	3.2	0.9	2.5	1.8	3.67	21444.3	12.13	6.56797	6.56793	26.48
3,710,000	-1.036	0.35	3.2	0.9	2.5	1.8	3.67	21444.3	12.13	6.56911	6.56907	26.50
3,720,000	-1.036	0.35	3.2	0.9	2.5	1.8	3.67	21444.3	12.13	6.57025	6.57021	26.51
3,730,000	-1.036	0.35	3.2	0.9	2.5	1.8	3.67	21444.3	12.13	6.57139	6.57135	26.52
3,740,000	-1.036	0.35	3.2	0.9	2.5	1.8	3.67	21444.3	12.13	6.57253	6.57249	26.53
3,750,000	-1.036	0.35	3.2	0.9	2.5	1.8	3.67	21444.3	12.13	6.57367	6.57363	26.54
3,760,000	-1.036	0.35	3.2	0.9	2.5	1.8	3.67	21444.3	12.13	6.57481	6.57477	26.55
3,770,000	-1.036	0.35	3.2	0.9	2.5	1.8	3.67	21444.3	12.13	6.57595	6.57591	26.56
3,780,000	-1.036	0.35	3.2	0.9	2.5	1.8	3.67	21444.3	12.13	6.57709	6.57705	26.57
3,790,000	-1.036	0.35	3.2	0.9	2.5	1.8	3.67	21444.3	12.13	6.57823	6.57819	26.58
3,800,000	-1.036	0.35	3.2	0.9	2.5	1.8	3.67	21444.3	12.13	6.57937	6.57933	26.59
3,810,000	-1.036	0.35	3.2	0.9	2.5	1.8	3.67	21444.3	12.13	6.58051	6.58047	26.60
3,820,000	-1.036	0.35	3.2	0.9	2.5	1.8	3.67	21444.3	12.13	6.58165	6.58161	26.61
3,830,000	-1.036	0.35	3.2	0.9	2.5	1.8	3.67	21444.3	12.13	6.58279	6.58275	26.62
3,840,000	-1.036	0.35	3.2	0.9	2.5	1.8	3.67	21444.3	12.13	6.58393	6.58389	26.63
3,850,000	-1.036	0.35	3.2	0.9	2.5	1.8	3.67	21444.3	12.13	6.58507	6.58503	26.64
3,860,000	-1.036	0.35	3.2	0.9	2.5	1.8	3.67	21444.3	12.13	6.58621	6.58617	26.65
3,870,000	-1.036	0.35	3.2	0.9	2.5	1.8	3.67	21444.3	12.13	6.58735	6.58731	26.66
3,880,000	-1.036	0.35	3.2	0.9	2.5	1.8	3.67	21444.3	12.13	6.58849	6.58845	26.68
3,890,000	-1.036	0.35	3.2	0.9	2.5	1.8	3.67	21444.3	12.13	6.58963	6.58959	26.69
3,900,000	-1.036	0.35	3.2	0.9	2.5	1.8	3.67	21444.3	12.13	6.59077	6.59073	26.70
3,910,000	-1.036	0.35	3.2	0.9	2.5	1.8	3.67	21444.3	12.13	6.59191	6.59187	26.71
3,920,000	-1.036	0.35	3.2	0.9	2.5	1.8	3.67	21444.3	12.13	6.59305	6.59301	26.72
3,930,000	-1.036	0.35	3.2	0.9	2.5	1.8	3.67	21444.3	12.13	6.59419	6.59415	26.73
3,940,000	-1.036	0.35	3.2	0.9	2.5	1.8	3.67	21444.3	12.13	6.59533	6.59529	26.74
3,950,000	-1.036	0.35	3.2	0.9	2.5	1.8	3.67	21444.3	12.13	6.59647	6.59643	26.75
3,960,000	-1.036	0.35	3.2	0.9	2.5	1.8	3.67	21444.3	12.13	6.59761	6.59757	26.76
3,970,000	-1.036	0.35	3.2	0.9	2.5	1.8	3.67	21444.3	12.13	6.59875	6.59871	26.77
3,980,000	-1.036	0.35	3.2	0.9	2.5	1.8	3.67	21444.3	12.13	6.59989	6.59985	26.78
3,990,000	-1.036	0.35	3.2	0.9	2.5	1.8	3.67	21444.3	12.13	6.60103	6.60099	26.79
4,000,000	-1.036	0.35	3.2	0.9	2.5	1.8	3.67	21444.3	12.13	6.60217	6.60213	26.80
4,010,000	-1.036	0.35	3.2	0.9	2.5	1.8	3.67	21444.3	12.13	6.60331	6.60327	26.81
4,020,000	-1.036	0.35	3.2	0.9	2.5	1.8	3.67	21444.3	12.13	6.60445	6.60441	26.82
4,030,000	-1.036	0.35	3.2	0.9	2.5	1.8	3.67	21444.3	12.13	6.60559	6.60555	26.83
4,040,000	-1.036	0.35	3.2	0.9	2.5	1.8	3.67	21444.3	12.13	6.60673	6.60669	26.84
4,050,000	-1.036	0.35	3.2	0.9	2.5	1.8	3.67	21444.3	12.13	6.60787	6.60783	26.85
4,060,000	-1.036	0.35	3.2	0.9	2.5	1.8	3.67	21444.3	12.13	6.60901	6.60897	26.86
4,070,000	-1.036	0.35	3.2	0.9	2.5	1.8	3.67	21444.3	12.13	6.61015	6.61011	26.87
4,080,000	-1.036	0.35	3.2	0.9	2.5	1.8	3.67	21444.3	12.13	6.61129	6.61125	26.89
4,100,000	-1.036	0.35	3.2	0.9	2.5	1.8	3.67	21444.3	12.13	6.61278	6.61274	26.90
4,110,000	-1.036	0.35	3.2	0.9	2.5	1.8	3.67	21444.3	12.13	6.61384	6.61380	26.91
4,120,000	-1.036	0.35	3.2	0.9	2.5	1.8	3.67	21444.3	12.13	6.61490	6.61486	26.92
4,130,000	-1.036	0.35	3.2	0.9	2.5	1.8	3.67	21444.3	12.13	6.61596	6.61592	26.93
4,140,000	-1.036	0.35	3.2	0.9	2.5	1.8	3.67	21444.3	12.13	6.61702	6.61698	26.94
4,150,000	-1.036	0.35	3.2	0.9	2.5	1.8	3.67	21444.3	12.13	6.61808	6.61804	26.95
4,160,000	-1.036	0.35	3.2	0.9	2.5	1.8	3.67	21444.3	12.13	6.61914	6.61910	26.96
4,170,000	-1.036	0.35	3.2	0.9	2.5	1.8	3.67	21444.3	12.13	6.62020	6.62016	26.97
4,180,000	-1.036	0.35	3.2	0.9	2.5	1.8	3.67	21444.3	12.13	6.62126	6.62122	26.98
4,190,000	-1.036	0.35	3.2	0.9	2.5	1.8	3.67	21444.3	12.13	6.62232	6.62228	26.99
4,200,000	-1.036	0.35	3.2	0.9	2.5	1.8	3.67	21444.3	12.13	6.62338	6.62334	27.00
4,210,000	-1.036	0.35	3.2	0.9	2.5	1.8	3.67	21444.3	12.13	6.62444	6.62440	27.00
4,220,000	-1.036	0.35	3.2	0.9	2.5	1.8	3.67	21444.3	12.13	6.62550	6.62546	27.01
4,230,000	-1.036	0.35	3.2	0.9	2.5	1.8	3.67	21444.3	12.13	6.62656	6.62652	27.02
4,240,000	-1.036	0.35	3.2	0.9	2.5	1.8	3.67	21444.3	12.13	6.62762	6.62758	27.03
4,250,000	-1.036	0.35	3.2	0.9	2.5	1.8	3.67	21444.3	12.13	6.62868	6.62864	27.04
4,260,000	-1.036	0.35	3.2	0.9	2.5	1.8	3.67	21444.3	12.13	6.62974	6.62970	27.05
4,270,000	-1.036	0.35	3.2	0.9	2.5	1.8	3.67	21444.3	12.13	6.63080	6.63076	27.06
4,280,000	-1.036	0.35	3.2	0.9	2.5	1.8	3.67	21444.3	12.13	6.63186	6.63182	27.07
4,290,000	-1.036	0.35	3.2	0.9	2.5	1.8	3.67	21444.3	12.13	6.63292	6.63288	27.08
4,300,000	-1.036	0.35	3.2	0.9	2.5	1.8	3.67	21444.3	12.13	6.63398	6.63394	27.09
4,310,000	-1.036	0.35	3.2	0.9	2.5	1.8	3.67	21444.3	12.13	6.63504	6.63500	27.10
4,320,000	-1.036	0.35	3.2	0.9	2.5	1.8	3.67	21444.3	12.13	6.63610	6.63606	27.11
4,330,000	-1.036	0.35	3.2	0.9	2.5	1.8	3.67	21444.3	12.13	6.63716	6.63712	27.12
4,340,000	-1.036	0.35	3.2	0.9	2.5	1.8	3.67	21444.3	12.13	6.63822	6.63818	27.13
4,350,000	-1.036	0.35	3.2	0.9	2.5	1.8	3.67	21444.3	12.13	6.63928	6.63924	27.14
4,360,000	-1.036	0.35	3.2	0.9	2.5	1.8	3.67	21444.3	12.13	6.64034	6.64030	27.15
4,370,000	-1.036	0.35	3.2	0.9	2.5	1.8	3.67					



4,610,000	-1.036	0.35	3.2	0.9	2.5	1.8	3.67	21444.3	12.13	6.66370	6.66352	27.37
4,620,000	-1.036	0.35	3.2	0.9	2.5	1.8	3.67	21444.3	12.13	6.66464	6.66446	27.38
4,630,000	-1.036	0.35	3.2	0.9	2.5	1.8	3.67	21444.3	12.13	6.66558	6.66540	27.39
4,640,000	-1.036	0.35	3.2	0.9	2.5	1.8	3.67	21444.3	12.13	6.66652	6.66634	27.40
4,650,000	-1.036	0.35	3.2	0.9	2.5	1.8	3.67	21444.3	12.13	6.66746	6.66728	27.41
4,660,000	-1.036	0.35	3.2	0.9	2.5	1.8	3.67	21444.3	12.13	6.66840	6.66822	27.42
4,670,000	-1.036	0.35	3.2	0.9	2.5	1.8	3.67	21444.3	12.13	6.66934	6.66916	27.43
4,680,000	-1.036	0.35	3.2	0.9	2.5	1.8	3.67	21444.3	12.13	6.67028	6.67010	27.44
4,690,000	-1.036	0.35	3.2	0.9	2.5	1.8	3.67	21444.3	12.13	6.67122	6.67104	27.45
4,700,000	-1.036	0.35	3.2	0.9	2.5	1.8	3.67	21444.3	12.13	6.67216	6.67198	27.46
4,710,000	-1.036	0.35	3.2	0.9	2.5	1.8	3.67	21444.3	12.13	6.67310	6.67292	27.47
4,720,000	-1.036	0.35	3.2	0.9	2.5	1.8	3.67	21444.3	12.13	6.67404	6.67386	27.48
4,730,000	-1.036	0.35	3.2	0.9	2.5	1.8	3.67	21444.3	12.13	6.67498	6.67480	27.49
4,740,000	-1.036	0.35	3.2	0.9	2.5	1.8	3.67	21444.3	12.13	6.67592	6.67574	27.50
4,750,000	-1.036	0.35	3.2	0.9	2.5	1.8	3.67	21444.3	12.13	6.67686	6.67668	27.51
4,760,000	-1.036	0.35	3.2	0.9	2.5	1.8	3.67	21444.3	12.13	6.67780	6.67762	27.52
4,770,000	-1.036	0.35	3.2	0.9	2.5	1.8	3.67	21444.3	12.13	6.67874	6.67856	27.53
4,780,000	-1.036	0.35	3.2	0.9	2.5	1.8	3.67	21444.3	12.13	6.67968	6.67950	27.54
4,790,000	-1.036	0.35	3.2	0.9	2.5	1.8	3.67	21444.3	12.13	6.68062	6.68044	27.55
4,800,000	-1.036	0.35	3.2	0.9	2.5	1.8	3.67	21444.3	12.13	6.68156	6.68138	27.56
4,810,000	-1.036	0.35	3.2	0.9	2.5	1.8	3.67	21444.3	12.13	6.68250	6.68232	27.57
4,820,000	-1.036	0.35	3.2	0.9	2.5	1.8	3.67	21444.3	12.13	6.68344	6.68326	27.58
4,830,000	-1.036	0.35	3.2	0.9	2.5	1.8	3.67	21444.3	12.13	6.68438	6.68420	27.59
4,840,000	-1.036	0.35	3.2	0.9	2.5	1.8	3.67	21444.3	12.13	6.68532	6.68514	27.60
4,850,000	-1.036	0.35	3.2	0.9	2.5	1.8	3.67	21444.3	12.13	6.68626	6.68608	27.61
4,860,000	-1.036	0.35	3.2	0.9	2.5	1.8	3.67	21444.3	12.13	6.68720	6.68702	27.62
4,870,000	-1.036	0.35	3.2	0.9	2.5	1.8	3.67	21444.3	12.13	6.68814	6.68796	27.63
4,880,000	-1.036	0.35	3.2	0.9	2.5	1.8	3.67	21444.3	12.13	6.68908	6.68892	27.64
4,890,000	-1.036	0.35	3.2	0.9	2.5	1.8	3.67	21444.3	12.13	6.69002	6.68986	27.65
4,900,000	-1.036	0.35	3.2	0.9	2.5	1.8	3.67	21444.3	12.13	6.69096	6.69080	27.66
4,910,000	-1.036	0.35	3.2	0.9	2.5	1.8	3.67	21444.3	12.13	6.69190	6.69174	27.67
4,920,000	-1.036	0.35	3.2	0.9	2.5	1.8	3.67	21444.3	12.13	6.69284	6.69268	27.68
4,930,000	-1.036	0.35	3.2	0.9	2.5	1.8	3.67	21444.3	12.13	6.69378	6.69362	27.69
4,940,000	-1.036	0.35	3.2	0.9	2.5	1.8	3.67	21444.3	12.13	6.69472	6.69456	27.70
4,950,000	-1.036	0.35	3.2	0.9	2.5	1.8	3.67	21444.3	12.13	6.69566	6.69550	27.71
4,960,000	-1.036	0.35	3.2	0.9	2.5	1.8	3.67	21444.3	12.13	6.69660	6.69644	27.72
4,970,000	-1.036	0.35	3.2	0.9	2.5	1.8	3.67	21444.3	12.13	6.69754	6.69738	27.73
4,980,000	-1.036	0.35	3.2	0.9	2.5	1.8	3.67	21444.3	12.13	6.69848	6.69832	27.74
4,990,000	-1.036	0.35	3.2	0.9	2.5	1.8	3.67	21444.3	12.13	6.69942	6.69926	27.75
5,000,000	-1.036	0.35	3.2	0.9	2.5	1.8	3.67	21444.3	12.13	6.69986	6.69970	27.76
5,010,000	-1.282	0.35	3.2	0.9	2.5	1.8	3.67	21444.3	12.13	6.69984	6.69968	28.54
5,020,000	-1.282	0.35	3.2	0.9	2.5	1.8	3.67	21444.3	12.13	6.70078	6.69962	28.55
5,030,000	-1.282	0.35	3.2	0.9	2.5	1.8	3.67	21444.3	12.13	6.70172	6.70056	28.56
5,040,000	-1.282	0.35	3.2	0.9	2.5	1.8	3.67	21444.3	12.13	6.70266	6.70150	28.57
5,050,000	-1.282	0.35	3.2	0.9	2.5	1.8	3.67	21444.3	12.13	6.70360	6.70244	28.58
5,060,000	-1.282	0.35	3.2	0.9	2.5	1.8	3.67	21444.3	12.13	6.70454	6.70338	28.59
5,070,000	-1.282	0.35	3.2	0.9	2.5	1.8	3.67	21444.3	12.13	6.70548	6.70432	28.60
5,080,000	-1.282	0.35	3.2	0.9	2.5	1.8	3.67	21444.3	12.13	6.70642	6.70526	28.61
5,090,000	-1.282	0.35	3.2	0.9	2.5	1.8	3.67	21444.3	12.13	6.70736	6.70620	28.62
5,100,000	-1.282	0.35	3.2	0.9	2.5	1.8	3.67	21444.3	12.13	6.70830	6.70714	28.63
5,110,000	-1.282	0.35	3.2	0.9	2.5	1.8	3.67	21444.3	12.13	6.70924	6.70808	28.64
5,120,000	-1.282	0.35	3.2	0.9	2.5	1.8	3.67	21444.3	12.13	6.71018	6.70902	28.65
5,130,000	-1.282	0.35	3.2	0.9	2.5	1.8	3.67	21444.3	12.13	6.71112	6.70996	28.66
5,140,000	-1.282	0.35	3.2	0.9	2.5	1.8	3.67	21444.3	12.13	6.71206	6.71090	28.67
5,150,000	-1.282	0.35	3.2	0.9	2.5	1.8	3.67	21444.3	12.13	6.71300	6.71184	28.68
5,160,000	-1.282	0.35	3.2	0.9	2.5	1.8	3.67	21444.3	12.13	6.71394	6.71278	28.69
5,170,000	-1.282	0.35	3.2	0.9	2.5	1.8	3.67	21444.3	12.13	6.71488	6.71372	28.70
5,180,000	-1.282	0.35	3.2	0.9	2.5	1.8	3.67	21444.3	12.13	6.71582	6.71466	28.71
5,190,000	-1.282	0.35	3.2	0.9	2.5	1.8	3.67	21444.3	12.13	6.71676	6.71560	28.72
5,200,000	-1.282	0.35	3.2	0.9	2.5	1.8	3.67	21444.3	12.13	6.71770	6.71654	28.73
5,210,000	-1.282	0.35	3.2	0.9	2.5	1.8	3.67	21444.3	12.13	6.71864	6.71748	28.74
5,220,000	-1.282	0.35	3.2	0.9	2.5	1.8	3.67	21444.3	12.13	6.71958	6.71842	28.75
5,230,000	-1.282	0.35	3.2	0.9	2.5	1.8	3.67	21444.3	12.13	6.72052	6.71936	28.76
5,240,000	-1.282	0.35	3.2	0.9	2.5	1.8	3.67	21444.3	12.13	6.72146	6.72030	28.77
5,250,000	-1.282	0.35	3.2	0.9	2.5	1.8	3.67	21444.3	12.13	6.72240	6.72124	28.78
5,260,000	-1.282	0.35	3.2	0.9	2.5	1.8	3.67	21444.3	12.13	6.72334	6.72218	28.79
5,270,000	-1.282	0.35	3.2	0.9	2.5	1.8	3.67	21444.3	12.13	6.72428	6.72312	28.80
5,280,000	-1.282	0.35	3.2	0.9	2.5	1.8	3.67	21444.3	12.13	6.72522	6.72406	28.81
5,290,000	-1.282	0.35	3.2	0.9	2.5	1.8	3.67	21444.3	12.13	6.72616	6.72500	28.82
5,300,000	-1.282	0.35	3.2	0.9	2.5	1.8	3.67	21444.3	12.13	6.72710	6.72594	28.83
5,310,000	-1.282	0.35	3.2	0.9	2.5	1.8	3.67	21444.3	12.13	6.72804	6.72688	28.84
5,320,000	-1.282	0.35	3.2	0.9	2.5	1.8	3.67	21444.3	12.13	6.72898	6.72782	28.85
5,330,000	-1.282	0.35	3.2	0.9	2.5	1.8	3.67	21444.3	12.13	6.72992	6.72876	28.86
5,340,000	-1.282	0.35	3.2	0.9	2.5	1.8	3.67	21444.3	12.13	6.73086	6.72970	28.87
5,350,000	-1.282	0.35	3.2	0.9	2.5	1.8	3.67	21444.3	12.13	6.73180	6.73064	28.88
5,360,000	-1.282	0.35	3.2	0.9	2.5	1.8	3.67	21444.3	12.13	6.73274	6.73158	28.89
5,370,000	-1.282	0.35	3.2	0.9	2.5	1.8	3.67	21444.3	12.13	6.73368	6.73252	28.90
5,380,000	-1.282	0.35	3.2	0.9	2.5	1.8	3.67	21444.3	12.13	6.73462	6.73346	28.91
5,390,000	-1.282	0.35	3.2	0.9	2.5	1.8	3.67	21444.3	12.13	6.73556	6.73440	28.92
5,400,000	-1.282	0.35	3.2	0.9	2.5	1.8	3.67	21444.3	12.13	6.73650	6.73534	28.93
5,410,000	-1.282	0.35	3.2	0.9	2.5	1.8	3.67	21444.3	12.13	6.73744	6.73628	28.94
5,420,000	-1.282	0.35	3.2	0.9	2.5	1.8	3.67	21444.3	12.13	6.73838	6.73722	28.95
5,430,000	-1.282	0.35	3.2	0.9	2.5	1.8	3.67	21444.3	12.13	6.73932	6.73816	28.96
5,440,000	-1.282	0.35	3.2	0.9	2.5	1.8	3.67	21444.3	12.13	6.74026	6.73910	28.97
5,450,000	-1.282	0.35	3.2	0.9	2.5	1.8	3.67	21444.3	12.13	6.74120	6.74004	28.98
5,460,000	-1.282	0.35	3.2	0.9	2.5	1.8	3.67	21444.3	12.13	6.74214	6.74098	28.99
5,470,000	-1.282	0.35	3.2	0.9	2.5	1.8	3.67	21444.3	12.13	6.74308	6.74192	29.00
5,480,000	-1.282	0.35	3.2	0.9	2.5	1.8	3.67	21444.3	12.13	6.74402	6.74286	29.01
5,490,000	-1.282	0.35	3.2	0.9	2.5	1.8	3.67	21444.3	12.13	6.74496	6.74380	29.02
5,500,000	-1.282	0.35	3.2	0.9	2.5	1.8	3.67	21444.3	12.13	6.74590	6.74474	29.03
5,510,000	-1.282	0.35	3.2	0.9	2.5	1.8	3.67					

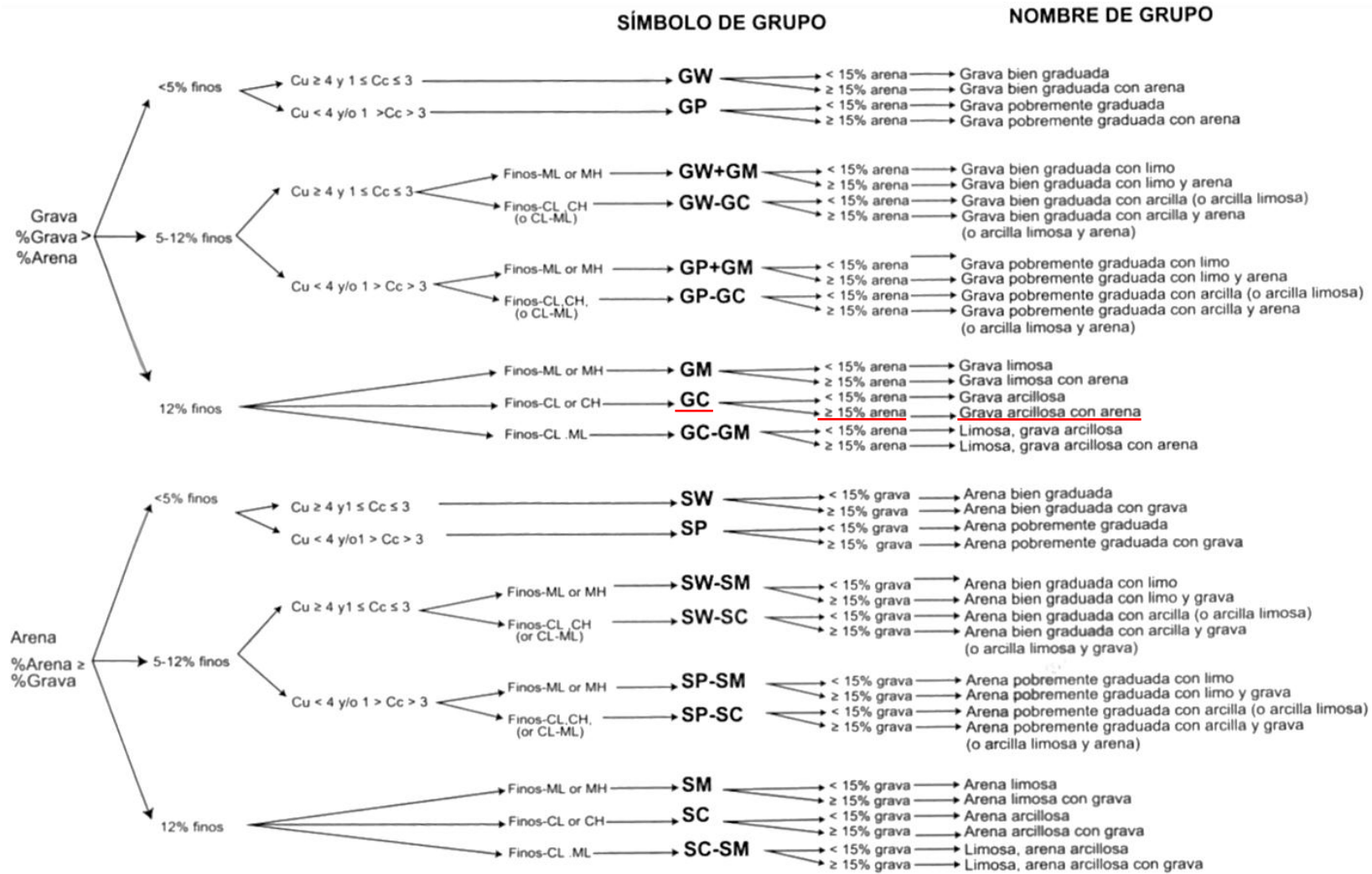


6,910,000	-1.282	0.35	3.2	0.9	2.5	1.8	3.67	21444.3	12.13	6.83948	6.83946	29.95
6,920,000	-1.282	0.35	3.2	0.9	2.5	1.8	3.67	21444.3	12.13	6.84011	6.84009	29.96
6,930,000	-1.282	0.35	3.2	0.9	2.5	1.8	3.67	21444.3	12.13	6.84073	6.84072	29.96
6,940,000	-1.282	0.35	3.2	0.9	2.5	1.8	3.67	21444.3	12.13	6.84136	6.84134	29.97
6,950,000	-1.282	0.35	3.2	0.9	2.5	1.8	3.67	21444.3	12.13	6.84198	6.84197	29.98
6,960,000	-1.282	0.35	3.2	0.9	2.5	1.8	3.67	21444.3	12.13	6.84261	6.84259	29.98
6,970,000	-1.282	0.35	3.2	0.9	2.5	1.8	3.67	21444.3	12.13	6.84323	6.84322	29.99
6,980,000	-1.282	0.35	3.2	0.9	2.5	1.8	3.67	21444.3	12.13	6.84386	6.84384	29.99
6,990,000	-1.282	0.35	3.2	0.9	2.5	1.8	3.67	21444.3	12.13	6.84448	6.84446	30.00
7,000,000	-1.282	0.35	3.2	0.9	2.5	1.8	3.67	21444.3	12.13	6.84510	6.84508	30.01
7,010,000	-1.282	0.35	3.2	0.9	2.5	1.8	3.67	21444.3	12.13	6.84572	6.84570	30.01
7,020,000	-1.282	0.35	3.2	0.9	2.5	1.8	3.67	21444.3	12.13	6.84634	6.84632	30.02
7,030,000	-1.282	0.35	3.2	0.9	2.5	1.8	3.67	21444.3	12.13	6.84696	6.84694	30.03
7,040,000	-1.282	0.35	3.2	0.9	2.5	1.8	3.67	21444.3	12.13	6.84757	6.84756	30.03
7,050,000	-1.282	0.35	3.2	0.9	2.5	1.8	3.67	21444.3	12.13	6.84819	6.84817	30.04
7,060,000	-1.282	0.35	3.2	0.9	2.5	1.8	3.67	21444.3	12.13	6.84880	6.84879	30.05
7,070,000	-1.282	0.35	3.2	0.9	2.5	1.8	3.67	21444.3	12.13	6.84942	6.84940	30.05
7,080,000	-1.282	0.35	3.2	0.9	2.5	1.8	3.67	21444.3	12.13	6.85003	6.85002	30.06
7,090,000	-1.282	0.35	3.2	0.9	2.5	1.8	3.67	21444.3	12.13	6.85065	6.85063	30.06
7,100,000	-1.282	0.35	3.2	0.9	2.5	1.8	3.67	21444.3	12.13	6.85126	6.85124	30.07
7,110,000	-1.282	0.35	3.2	0.9	2.5	1.8	3.67	21444.3	12.13	6.85187	6.85185	30.08
7,120,000	-1.282	0.35	3.2	0.9	2.5	1.8	3.67	21444.3	12.13	6.85248	6.85246	30.08
7,130,000	-1.282	0.35	3.2	0.9	2.5	1.8	3.67	21444.3	12.13	6.85309	6.85307	30.09
7,140,000	-1.282	0.35	3.2	0.9	2.5	1.8	3.67	21444.3	12.13	6.85370	6.85368	30.10
7,150,000	-1.282	0.35	3.2	0.9	2.5	1.8	3.67	21444.3	12.13	6.85431	6.85429	30.10
7,160,000	-1.282	0.35	3.2	0.9	2.5	1.8	3.67	21444.3	12.13	6.85491	6.85490	30.11
7,170,000	-1.282	0.35	3.2	0.9	2.5	1.8	3.67	21444.3	12.13	6.85552	6.85550	30.11
7,180,000	-1.282	0.35	3.2	0.9	2.5	1.8	3.67	21444.3	12.13	6.85612	6.85611	30.12
7,190,000	-1.282	0.35	3.2	0.9	2.5	1.8	3.67	21444.3	12.13	6.85673	6.85671	30.13
7,200,000	-1.282	0.35	3.2	0.9	2.5	1.8	3.67	21444.3	12.13	6.85733	6.85731	30.13
7,210,000	-1.282	0.35	3.2	0.9	2.5	1.8	3.67	21444.3	12.13	6.85794	6.85792	30.14
7,220,000	-1.282	0.35	3.2	0.9	2.5	1.8	3.67	21444.3	12.13	6.85854	6.85852	30.15
7,230,000	-1.282	0.35	3.2	0.9	2.5	1.8	3.67	21444.3	12.13	6.85914	6.85912	30.15
7,240,000	-1.282	0.35	3.2	0.9	2.5	1.8	3.67	21444.3	12.13	6.85974	6.85972	30.16
7,250,000	-1.282	0.35	3.2	0.9	2.5	1.8	3.67	21444.3	12.13	6.86034	6.86032	30.16
7,260,000	-1.282	0.35	3.2	0.9	2.5	1.8	3.67	21444.3	12.13	6.86094	6.86092	30.17
7,270,000	-1.282	0.35	3.2	0.9	2.5	1.8	3.67	21444.3	12.13	6.86153	6.86152	30.18
7,280,000	-1.282	0.35	3.2	0.9	2.5	1.8	3.67	21444.3	12.13	6.86213	6.86211	30.18
7,290,000	-1.282	0.35	3.2	0.9	2.5	1.8	3.67	21444.3	12.13	6.86273	6.86271	30.19
7,300,000	-1.282	0.35	3.2	0.9	2.5	1.8	3.67	21444.3	12.13	6.86332	6.86330	30.19
7,310,000	-1.282	0.35	3.2	0.9	2.5	1.8	3.67	21444.3	12.13	6.86392	6.86390	30.20
7,320,000	-1.282	0.35	3.2	0.9	2.5	1.8	3.67	21444.3	12.13	6.86451	6.86449	30.21
7,330,000	-1.282	0.35	3.2	0.9	2.5	1.8	3.67	21444.3	12.13	6.86510	6.86508	30.21
7,340,000	-1.282	0.35	3.2	0.9	2.5	1.8	3.67	21444.3	12.13	6.86570	6.86568	30.22
7,350,000	-1.282	0.35	3.2	0.9	2.5	1.8	3.67	21444.3	12.13	6.86629	6.86627	30.23
7,360,000	-1.282	0.35	3.2	0.9	2.5	1.8	3.67	21444.3	12.13	6.86688	6.86686	30.23
7,370,000	-1.282	0.35	3.2	0.9	2.5	1.8	3.67	21444.3	12.13	6.86747	6.86745	30.24
7,380,000	-1.282	0.35	3.2	0.9	2.5	1.8	3.67	21444.3	12.13	6.86806	6.86804	30.24
7,390,000	-1.282	0.35	3.2	0.9	2.5	1.8	3.67	21444.3	12.13	6.86864	6.86862	30.25
7,400,000	-1.282	0.35	3.2	0.9	2.5	1.8	3.67	21444.3	12.13	6.86923	6.86921	30.26
7,410,000	-1.282	0.35	3.2	0.9	2.5	1.8	3.67	21444.3	12.13	6.86982	6.86980	30.26
7,420,000	-1.282	0.35	3.2	0.9	2.5	1.8	3.67	21444.3	12.13	6.87040	6.87038	30.27
7,430,000	-1.282	0.35	3.2	0.9	2.5	1.8	3.67	21444.3	12.13	6.87099	6.87097	30.27
7,440,000	-1.282	0.35	3.2	0.9	2.5	1.8	3.67	21444.3	12.13	6.87157	6.87155	30.28
7,450,000	-1.282	0.35	3.2	0.9	2.5	1.8	3.67	21444.3	12.13	6.87216	6.87214	30.29
7,460,000	-1.282	0.35	3.2	0.9	2.5	1.8	3.67	21444.3	12.13	6.87274	6.87272	30.29
7,470,000	-1.282	0.35	3.2	0.9	2.5	1.8	3.67	21444.3	12.13	6.87332	6.87330	30.30
7,480,000	-1.282	0.35	3.2	0.9	2.5	1.8	3.67	21444.3	12.13	6.87390	6.87388	30.30
7,490,000	-1.282	0.35	3.2	0.9	2.5	1.8	3.67	21444.3	12.13	6.87448	6.87446	30.31
7,500,000	-1.282	0.35	3.2	0.9	2.5	1.8	3.67	21444.3	12.13	6.87506	6.87504	30.32

6,910,000	-1.282	0.35	3.2	0.9	2.5	1.8	3.67	21444.3	86.66	6.83948	6.83865	27.63
6,920,000	-1.282	0.35	3.2	0.9	2.5	1.8	3.67	21444.3	86.66	6.84011	6.83928	27.64
6,930,000	-1.282	0.35	3.2	0.9	2.5	1.8	3.67	21444.3	86.66	6.84073	6.83990	27.65
6,940,000	-1.282	0.35	3.2	0.9	2.5	1.8	3.67	21444.3	86.66	6.84136	6.84052	27.65
6,950,000	-1.282	0.35	3.2	0.9	2.5	1.8	3.67	21444.3	86.66	6.84198	6.84114	27.66
6,960,000	-1.282	0.35	3.2	0.9	2.5	1.8	3.67	21444.3	86.66	6.84261	6.84176	27.67
6,970,000	-1.282	0.35	3.2	0.9	2.5	1.8	3.67	21444.3	86.66	6.84323	6.84238	27.68
6,980,000	-1.282	0.35	3.2	0.9	2.5	1.8	3.67	21444.3	86.66	6.84386	6.84300	27.68
6,990,000	-1.282	0.35	3.2	0.9	2.5	1.8	3.67	21444.3	86.66	6.84448	6.84362	27.69
7,000,000	-1.282	0.35	3.2	0.9	2.5	1.8	3.67	21444.3	86.66	6.84510	6.84423	27.69
7,010,000	-1.282	0.35	3.2	0.9	2.5	1.8	3.67	21444.3	86.66	6.84572	6.84485	27.70
7,020,000	-1.282	0.35	3.2	0.9	2.5	1.8	3.67	21444.3	86.66	6.84634	6.84546	27.70
7,030,000	-1.282	0.35	3.2	0.9	2.5	1.8	3.67	21444.3	86.66	6.84696	6.84607	27.71
7,040,000	-1.282	0.35	3.2	0.9	2.5	1.8	3.67	21444.3	86.66	6.84757	6.84669	27.72
7,050,000	-1.282	0.35	3.2	0.9	2.5	1.8	3.67	21444.3	86.66	6.84819	6.84730	27.72
7,060,000	-1.282	0.35	3.2	0.9	2.5	1.8	3.67	21444.3	86.66	6.84880	6.84791	27.73
7,070,000	-1.282	0.35	3.2	0.9	2.5	1.8	3.67	21444.3	86.66	6.84942	6.84852	27.74
7,080,000	-1.282	0.35	3.2	0.9	2.5	1.8	3.67	21444.3	86.66	6.85003	6.84913	27.74
7,090,000	-1.282	0.35	3.2	0.9	2.5	1.8	3.67	21444.3	86.66	6.85065	6.84974	27.75
7,100,000	-1.282	0.35	3.2	0.9	2.5	1.8	3.67	21444.3	86.66	6.85126	6.85034	27.76
7,110,000	-1.282	0.35	3.2	0.9	2.5	1.8	3.67	21444.3	86.66	6.85187	6.85095	27.77
7,120,000	-1.282	0.35	3.2	0.9	2.5	1.8	3.67	21444.3	86.66	6.85248	6.85156	27.77
7,130,000	-1.282	0.35	3.2	0.9	2.5	1.8	3.67	21444.3	86.66	6.85309	6.85216	27.77
7,140,000	-1.282	0.35	3.2	0.9	2.5	1.8	3.67	21444.3	86.66	6.85370	6.85276	27.78
7,150,000	-1.282	0.35	3.2	0.9	2.5	1.8	3.67	21444.3	86.66	6.85431	6.85337	27.79
7,160,000	-1.282	0.35	3.2	0.9	2.5	1.8	3.67	21444.3	86.66	6.85491	6.85397	27.79
7,170,000	-1.282	0.35	3.2	0.9	2.5	1.8	3.67	21444.3	86.66	6.85552	6.85457	27.80
7,180,000	-1.282	0.35	3.2	0.9	2.5	1.8	3.67	21444.3	86.66	6.85612	6.85517	27.81
7,190,000	-1.282	0.35	3.2	0.9	2.5	1.8	3.67	21444.3	86.66	6.85673	6.85577	27.82
7,200,000	-1.282	0.35	3.2	0.9	2.5	1.8	3.67	21444.3	86.66	6.85733	6.85637	27.81
7,210,000	-1.282	0.35	3									

Apéndices

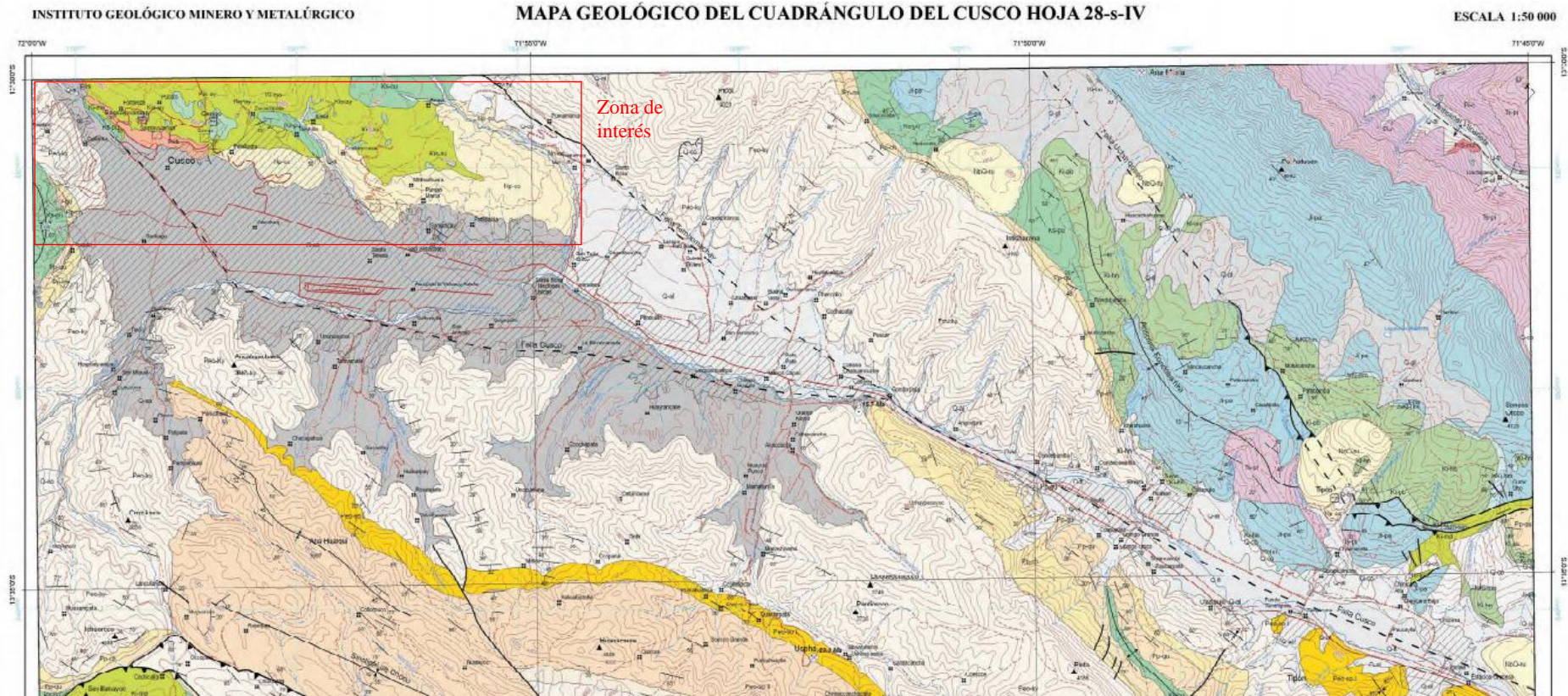
Apéndice A - Esquema para establecer la descripción del suelo en el sistema SUCS



Fuente: Menéndez Acurio (2016a)

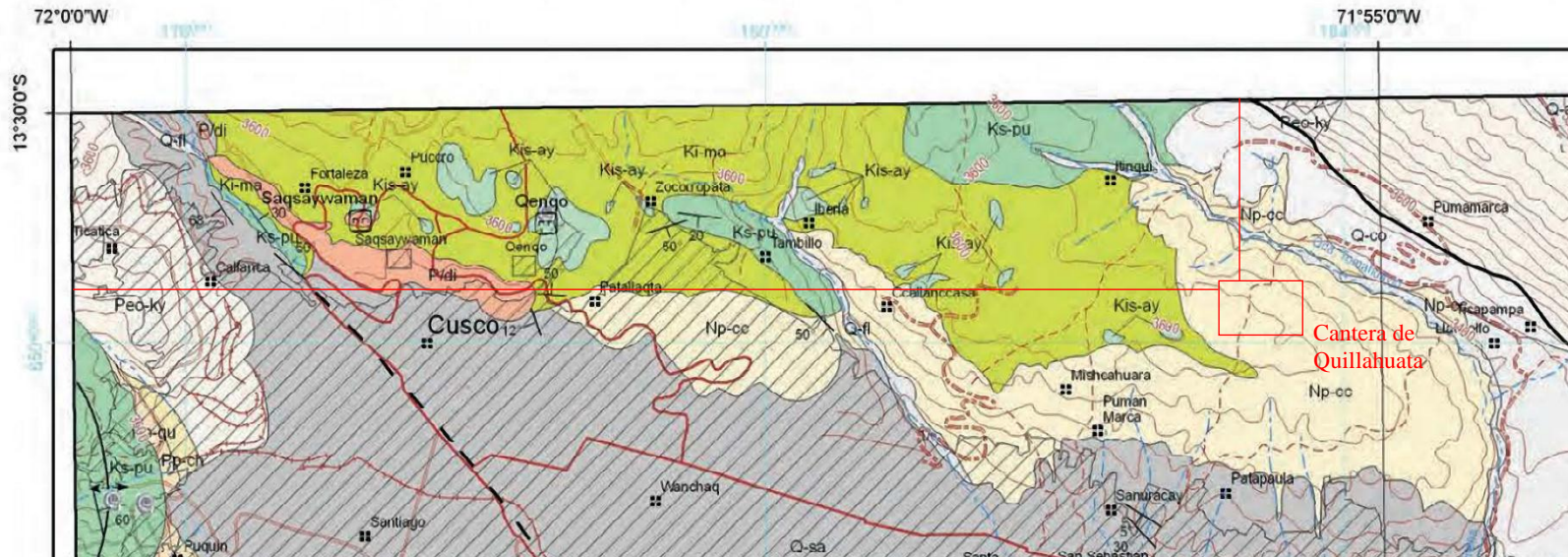


Apéndice B – Mapa geológico del cuadrángulo del cusco, hoja 28-s-IV (parte superior)



Fuente: Instituto Geológico Minero y Metalúrgico (2009)

Apéndice C – Mapa geológico del cuadrángulo del cusco, hoja 28-s-IV y su leyenda (zona de interés)



ERATEMA	SISTEMA	SERIE	
CENOZOICO	CUATERNARIO	Holoceno	Depósitos coluviales Q-co Depósitos de pendientes, incluidos deslizamientos.
			Depósitos aluviales Q-al Gravas de conos aluviales y de deyección.
			Depósitos fluviales Q-fl Arenas, arenas gravosas estratificadas y terrazas.
			Depósitos glaciares Q-gl Morrenas con bloques heterométricos.
		Pleistoc.	Fm. San Sebastian Q-sa Arcillas y arenas fluvio lacustres. Niveles de turba y diatomitas.
			Fm. Rumicolca NpQ-ru Coladas volcánicas de shoshonitas, andesitas, traquitas y dacitas.
	NEÓGENO	Plioceno	Fm. Chincheros Np-cc Brechas torrenciales con clastos de calizas.
			Fm. Paruro Nm-pa II Conglomerados gruesos fluviales proximales y de conos aluviales.
	Mioceno	Fm. Paruro Nm-pa I Lutitas y limolitas lacustres con carofitas, areniscas y conglomerados fluviales.	
		Fm. Pacaritambo Nm-pac Conglomerados aluviales y areniscas fluviales rojas.	
	Oligoceno	Fm. Duracocha Nm-pu III Areniscas fluviales y conglomerados con clastos de cuarcita, calizas y areniscas.	
		Fm. Duracocha Nm-pu II Areniscas fluviales y conglomerados con clastos volcánicos en la base.	

Fuente: Instituto Geológico Minero y Metalúrgico (2009)