



UNIVERSIDAD  
PRIVADA  
DEL NORTE

# FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de Ingeniería Civil

EFFECTOS DE LA ADICIÓN DE CONCRETO RECICLADO  
EN LA CAPACIDAD DE SOPORTE DE LOS SUELOS  
ARCILLOSOS DE SUBRASANTE EN EL DISTRITO DE  
CARABAYLLO, CALLE 19 TRAMO: Km 0+000 - 0+720”

Tesis para optar el título profesional de:

**Ingeniero Civil**

Autor:

Jesús Elías Sagástegui Reátegui

Asesor:

Mg. Marco Antonio Cerna Vasquez

Lima - Perú

2020

## ACTA DE AUTORIZACIÓN PARA SUSTENTACIÓN DE TESIS

El asesor Marco Antonio Cerna Vasquez, docente de la Universidad Privada del Norte, Facultad de Ingeniería, Carrera profesional de **INGENIERÍA CIVIL**, ha realizado el seguimiento del proceso de formulación y desarrollo de la tesis de los estudiantes:

- Sagástegui Reátegui Jesús Elías

Por cuanto, **CONSIDERA** que la tesis titulada: “Efecto de la Adición de Concreto Reciclado en la Capacidad de Soporte de los Suelos Arcillosos de Subrasante en el distrito de Carabaylo Calle 19 Tramo: km 0+000 – 0+720 ” para aspirar al título profesional de: Ingeniero Civil por la Universidad Privada del Norte, reúne las condiciones adecuadas, por lo cual, **AUTORIZA** al o a los interesados para su presentación.

---

Mg. Marco Antonio Cerna Vasquez

Asesor

## ACTA DE APROBACIÓN DE LA TESIS

Los miembros del jurado evaluador asignados han procedido a realizar la evaluación de la tesis de los estudiantes: *Haga clic o pulse aquí para escribir texto*, para aspirar al título profesional con la tesis denominada: *Haga clic o pulse aquí para escribir texto*.

Luego de la revisión del trabajo, en forma y contenido, los miembros del jurado concuerdan:

**Aprobación por unanimidad**

**Aprobación por mayoría**

Calificativo:

Excelente [20 - 18]

Sobresaliente [17 - 15]

Bueno [14 - 13]

Calificativo:

Excelente [20 - 18]

Sobresaliente [17 - 15]

Bueno [14 - 13]

Desaprobado

Firman en señal de

conformidad:

---

Mg. Rubén Kevin Manturano

Chipana

Jurado

Presidente

---

Ing./Lic./Dr./Mg. Nombre y  
Apellidos

Jurado

---

Ing./Lic./Dr./Mg. Nombre y  
Apellidos

Jurado

## DEDICATORIA

A mi madre, tía,  
esposa y mi hijo,  
Por ser mi motivación y fuerza.

## **AGRADECIMIENTO**

A mis profesores de la facultad de Ingeniería Civil,  
A mi asesor, por su orientación y consejos  
Y mis amigos de la Universidad,  
Con quienes hemos aprendido mucho  
En esta etapa universitaria

## CONTENIDO

ACTA DE AUTORIZACIÓN PARA SUSTENTACIÓN DE TESIS .....	2
ACTA DE APROBACIÓN DE LA TESIS .....	3
DEDICATORIA.....	4
AGRADECIMIENTO.....	5
ÍNDICE DE TABLAS .....	8
ÍNDICE DE FIGURAS.....	9
ÍNDICE DE ECUACIONES.....	11
<b>CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>12</b>
1.1. Contextualización del problema.....	12
1.2. Formulación del problema .....	14
1.3. Justificación .....	14
1.4. Limitaciones .....	15
1.4.1. Problemas específicos .....	15
1.5. Objetivos.....	16
1.5.1. Objetivo general .....	16
1.5.2. Objetivos específicos .....	16
1.6. Antecedentes Nacionales.....	16
1.7. Antecedentes Internacionales.....	20
1.8. Bases Teóricas .....	23
1.8.6. Subrasante .....	24
1.9. Hipótesis.....	24
1.10. Definiciones Conceptuales .....	24
Operacionalización de variables .....	25
<b>CAPÍTULO II. METODOLOGIA .....</b>	<b>27</b>
2.1. Tipo de Investigación.....	27
2.1.1. Nivel de investigación .....	27
2.1.2. Diseño de la Investigación .....	27
2.2. Métodos Empleados .....	28

2.2.1.	<i>Métodos de Observación</i> .....	28
2.2.2.	<i>Método Inductivo</i> .....	28
2.2.3.	<i>Método Comparativo</i> .....	28
2.3.	<b>Población y Muestra</b> .....	28
2.3.1.	<i>Muestra</i> .....	29
2.3.2.	<i>Tipo de Muestreo</i> .....	29
2.4.	<b>Técnicas y Materiales</b> .....	30
2.4.1.	<i>Técnicas</i> .....	30
2.4.2.	<i>Materiales</i> .....	30
2.4.3.	<i>Procedimiento de Recolección, Tratamiento y Análisis de Datos</i> .....	34
2.5.	<b>Aspectos éticos</b> .....	36
<b>CAPÍTULO III. RESULTADOS</b> .....		<b>37</b>
3.1.	<b>Resultados de los ensayos de laboratorio</b> .....	37
3.1.1.	<i>Ubicación del área en estudio</i> .....	37
3.1.2.	<i>Exploraciones de Campo</i> .....	37
3.1.3.	<i>Muestreo y obtención de muestras</i> .....	38
3.1.4.	<i>Obtención de concreto reciclado</i> .....	38
3.1.5.	<i>Interpretación de Resultados</i> .....	62
3.1.6.	<i>Interpretación de Ensayos – Cuadros Comparativos</i> .....	62
<b>CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES</b> .....		<b>69</b>
4.1.	<b>Limitaciones</b> .....	69
4.2.	<b>Interpretación Comparativa</b> .....	69
4.3.	<b>Implicancias</b> .....	71
4.4.	<b>Conclusiones</b> .....	72
<b>REFERENCIAS</b> .....		<b>73</b>
<b>ANEXOS</b> .....		<b>76</b>
<b>ANEXOS</b> .....		<b>76</b>
	<i>Ensayos de laboratorio</i> .....	38

## ÍNDICE DE TABLAS

tabla 1 operacionalización de variable (Independiente) .....	25
tabla 2 operacionalización de variable (Dependiente) .....	26
tabla 3 Juego de tamices .....	32
tabla 4 Instrumentos para levantamiento de información.....	35
tabla 5 Cuadro comparativo de clasificación de suelos .....	62
tabla 6 Comparación de los resultados del límite líquido.....	63
tabla 7 Comparación de los resultados del límite plástico .....	64
tabla 8 comparación de los resultados del índice de plasticidad.....	65
tabla 9 Comparación de los resultados de humedad .....	66
tabla 10 Comparación de los resultados de los ensayos de Proctor modificado .....	67
tabla 11 Comparación de los resultados de los ensayos de CBR .....	68
tabla 12 categorías de subrasante .....	69
tabla 13 resultados CBR .....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
tabla 14 Proctor modificado.....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 representación de la población .....	28
Figura 2 ubicación de la población .....	29
Figura 3 Proctor modificado (materiales).....	33
Figura 4 criterio lógico (mecánica de suelos) .....	37
Figura 5 resultado CBR .....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
Figura 6 Límites de Consistencia .....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
Figura 7 Registro para el muestreo de exploraciones en campo .....	78
Figura 8 Análisis granulométrico y contenido de humedad .....	79
Figura 9 Ensayo de límite de consistencia – límite líquido y límite plástico .....	80
Figura 10 Ensayo de Proctor modificado .....	81
Figura 11 Ensayo de relación de soporte de california - CBR.....	82
Figura 12 Límites de atterberg (carta de plasticidad) .....	40
Figura 13 Sistema de clasificación AASHTO .....	41
Figura 14 Clasificación de suelos - terreno natural.....	85
Figura 15 Proctor modificado – terreno natural.....	86
Figura 16 Ensayo de CBR – terreno natural .....	87
Figura 17 Ensayo de CBR – terreno natural .....	88
Figura 18 clasificación de suelos – terreno natural + 5% concreto reciclado .....	89
Figura 19 Proctor modificado – terreno natural + 5% concreto reciclado .....	90
Figura 20 ensayo de CBR – terreno natural + 5% concreto reciclado .....	91
Figura 21 Ensayo de CBR – terreno natural + 5% concreto reciclado .....	92
Figura 22 Clasificación de suelos – terreno natural + 15% concreto reciclado .....	93
Figura 23 Proctor modificado – terreno natural + 15% concreto reciclado .....	94
Figura 24 Ensayo de CBR – terreno natural + 15% concreto reciclado .....	95
Figura 25 Ensayo de CBR – terreno natural + 15% concreto reciclado .....	96
Figura 26 Clasificación de suelos – terreno natural + 25% concreto reciclado .....	97
Figura 27 Proctor modificado – terreno natural +25% concreto reciclado.....	98
Figura 28 Ensayo de CBR – terreno natural +25% concreto reciclado .....	99
Figura 29 ensayo de CBR - terreno natural +25% concreto reciclado .....	100
Figura 30 Clasificación de suelos – terreno natural +35% concreto reciclado .....	101
Figura 31 Proctor modificado – terreno natural +35% concreto reciclado.....	102

Figura 32 Ensayo de CBR -terreno natural +35% concreto reciclado.....	103
Figura 33 Ensayo de CBR – terreno natural +35% concreto reciclado .....	104
Figura 34 Curva granulométrica .....	45
Figura 35 Contenido de humedad .....	45
Figura 36 Límites de consistencia – líquido y plástico .....	46
Figura 37 Proctor modificado .....	47
Figura 38 califonia bearing ratio .....	48
Figura 39 Curva granulométrica .....	49
Figura 40 Contenido de humedad .....	49
Figura 41 límites de consistencia – líquido y plástico .....	50
Figura 42 Proctor modificado .....	50
Figura 43 califonia bearing ratio .....	51
Figura 44 Curva granulométrica .....	52
Figura 45 contenido de humedad .....	52
Figura 46 límites de consistencia – líquido y plástico .....	53
Figura 47 Proctor modificado .....	54
Figura 48 California bearing ratio .....	55
Figura 49 Curva granulométrica .....	56
Figura 50 Contenido de humedad .....	56
Figura 51 límites de consistencia – líquido y plástico .....	57
Figura 52 Proctor modificado .....	57
Figura 53 califonia bearing ratio .....	58
Figura 54 curva granulométrica .....	59
Figura 55 contenido de humedad .....	59
Figura 56 límites de consistencia – líquido plástico.....	60
Figura 57 Proctor modificado .....	60
Figura 58 califonia bearing ratio .....	61

## ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1. Coeficiente de uniformidad.....	39
Ecuación 2. Coeficiente de curvatura .....	39
Ecuación 3. Contenido de humedad.....	41
Ecuación 4. Índice de plasticidad.....	42
Ecuación 5. Densidad húmeda .....	42
Ecuación 6. Densidad seca .....	43
Ecuación 7. Peso unitario .....	43
Ecuación 8. Curva de saturación .....	43
Ecuación 9. Porcentaje de agua .....	44
Ecuación 10. porcentaje de expansión .....	44

## CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

### 1.1. Contextualización del problema

En el mundo con el paso de los años, se puede apreciar que el mejoramiento de suelos en la subrasante está en permanentes avances en materia de investigación, ya que ha estado en estrecha relación con la vida del hombre, fue recién a principios del siglo XX que cobro relevancia en el conocimiento de sus propiedades física y mecánicas, destacando grandes físicos e investigadores pioneros de la mecánica de suelos.

Dentro del grupo de suelos que afectan negativamente a la subrasante de un diseño de pavimento son los suelos arcillosos. El comportamiento mecánico de las arcillas se ve decisivamente influido por su estructura en general y constitución mineralógica en particular, ya que estas presentan cambios bruscos de volumen al contacto con el agua poniendo en riesgo obras civiles de ingeniería, como carreteras, aeropuertos, presas, terraplenes, entre otros causando pérdidas.

Otras de la complicación que puede tener la subrasante en suelos arcillosos es la expansión, ya que en estado seco tiene un buen comportamiento, pero cuando este se humedece absorbiendo agua entre sus partículas y aumentado su volumen experimenta una relajación de los esfuerzos intergranulares al aumentar el grado de saturación estas arcillas están ante un posible colapso. **(Barrera Bucio, 2002)**

En américa latina uno de los métodos más conocidos para el mejoramiento de los suelos arcillosos en la subrasante es mediante aditivos químicos, a partir de exitosos trabajos, ha ido ganando protagonismo en muchos países, resultando una solución viable; mérito conquistado a partir de una gran cantidad de kilómetros de pavimentos

que han sido construidos con estos procedimientos, con resultados positivos. Se le denomina estabilizador químico de suelos que, al ser utilizado en suelos arcillosos, lo altera, mejorando su capacidad de soporte.

Chile y Argentina acumulan igualmente gran experiencia y muchas obras de pavimentaciones, logrando que las capas que conforman dicha estructura tengan un magnífico comportamiento durante muchísimos años. **(Rabanal Pajares, 2014)**

En la ciudad de lima metropolitana las conforman lima y callao es una de las mayores a nivel latinoamericano, lima cuenta con 43 distritos, estos están conformados por distintas tipologías o perfiles estratigráficos del suelo (rocoso, granular y finos), tener experiencia y conocimiento amplio del manejo del comportamiento de estos suelos es indispensable, ya que depende de ello la funcionalidad de la estructura del pavimento.

Por tal motivo el objetivo de este proyecto es evaluar la adición de concreto reciclado al suelo arcilloso de la subrasante, con el fin de determinar su comportamiento y propiedades mecánicas, obteniendo el mejoramiento de la capacidad de soporte de suelo en el tramo calle 19, mezclando el suelo natural (arcilla) con dosificaciones del 5%, 15%, 25% y 35% de concreto reciclado pasando el tamiz N° 3/8, teniendo en cuenta que las arcillas necesitan de otro material para su estabilización y un mejor comportamiento en cuanto a su capacidad de soporte.

En este trabajo de investigación se presentan los resultados de laboratorios sobre la adición de concreto reciclado para mejorar la capacidad de soporte de suelo arcillosos.

## 1.2. Formulación del problema

¿La adición de concreto reciclado es capaz de mejorar la capacidad de soporte de suelos arcillosos de subrasante en el distrito de Carabayllo, Calle 19 tramo: Km 0+000 - 0+720?

## 1.3. Justificación

Este trabajo de investigación brindará una opción técnica y razonable porque será una alternativa constructiva para mejorar la capacidad de soporte de las subrasantes de suelos arcillosos, ya que la utilización de concreto reciclado incrementa el comportamiento mecánico de estos suelos finos, cumpliendo así lo establecido por la norma técnica peruana. Hago mención del investigador Foster SW, 1986 del Instituto Tecnológico de Massachusetts que indico: “Las partículas de agregado producidas por el concreto tienen un mejor comportamiento mecánico, comparados con los agregados naturales de las distintas canteras”

Muchas de las soluciones ingenieriles ante un mejoramiento de suelo arcilloso en la subrasante son mediante la combinación de algún aditivo químico o la combinación de algún material de préstamo, técnicamente la adición de concreto reciclado brinda características físico mecánicas cumpliendo con los valores permisibles que indica la normatividad vigente. Resaltándose que habrá un mejoramiento en la capacidad de soporte de estos suelos arcillosos reduciendo los asentamientos producidos por la carga del tránsito.

M. Buck, aclara lo siguiente: “El concreto hecho con agregado fino y grueso de concreto reciclado tiene menores asentamientos y mayores contenidos de cemento comparado con la mezcla hecha con cualquier material de préstamo. También notó que el concreto a partir del material agregado reciclado tiene resistencias a la

compresión de 300 a 1300 psi, menos que de concreto de referencia durante el periodo de prueba (edades mayores a 180 días).” (1973, Pag 45)

En el aspecto ambiental, en la actualidad son pocos los profesionales que están optando por ideas innovadoras a la solución de problemas que trae consigo la ingeniería, dejando de lado la cultura de reciclar es por ello que la soluciones deben de ir de la mano con el medio ambiente con el fin de cuidar la naturaleza, ya que esta generaría un impacto ambiental positivo a nuestro país y al planeta.

Holanda unos de los países que recicla y reutiliza ha generado un ambiente sano convirtiendo los residuos de construcción y demolición una segunda oportunidad como materiales de construcción para hacer carreteras. Logrando que la demanda de recursos naturales se reduzca.

Cabe indicar que las diversas tipologías de suelos y las zonas inaccesibles en el país no permiten un desarrollo comercial de los pueblos por el inadecuado acceso a ellos. Ellos no pueden llevar sus productos por la deficiencia de infraestructura vial. Es por eso, la importancia de la implementación de este mejoramiento de suelos para su uso alternativo en la construcción de trochas carrozables que necesita el Perú trayendo así un impacto económico y social importante.

#### **1.4. Limitaciones**

- Falta de proyectos viales en el distrito de carabayllo.
- Escaza información de estudios de mejoramiento de suelos con materiales reciclados.

##### **1.4.1. Problemas específicos**

- ¿Cuáles con lo propiedades físicas y mecánicas que influyen en la capacidad de soporte del suelo arcilloso de subrasante del distrito de Carabayllo, Calle 19 tramo: Km 0+000 - 0+720?

- ¿Cuál es la dosificación de concreto reciclado como adición para el mejoramiento de las arcillas en la subrasante del distrito de Carabaylo, Calle 19 tramo: Km 0+000 - 0+720?

## 1.5. Objetivos

### 1.5.1. Objetivo general

Determinar la capacidad de soporte de los suelos arcillosos en la subrasante adicionando concreto reciclado en el distrito de Carabaylo, Calle 19 tramo: Km 0+000 - 0+720.

### 1.5.2. Objetivos específicos

- Analizar las propiedades físicas y mecánicas que influyen en la capacidad de soporte del suelo arcilloso de subrasante del distrito de Carabaylo, Calle 19 tramo: Km 0+000 - 0+720.
- Establecer la dosificación de concreto reciclado como adición para el mejoramiento de las arcillas en la subrasante del distrito de Carabaylo, Calle 19 tramo: Km 0+000 - 0+720.

## 1.6. Antecedentes Nacionales

(Contreras Quezada & Herrera Lázaro, 2015). Realizo una tesis en la ciudad de Nuevo Chimbote, para optar el título profesional de Ingeniero Civil, titulado “Mejoramiento del Agregado Obtenido de Escombros de la Construcción para Bases y Sub Bases de estructura de Pavimento en Nuevo Chimbote”, objetivo general: Mejorar el agregado obtenido de escombros de la construcción para bases y sub-bases de estructuras de pavimentos.

**Conclusión.** Se concluye que, al mejorar el agregado obtenido de los escombros de las construcciones, para bases y sub bases, se logran altas capacidades resistentes y propiedades mecánicas similares al agregado convencional por lo tanto se podrán proponer como material alternativo en obras de pavimentación. **(Contreras Quezada & Herrera Lázaro, 2015).**

**(Leiva Gonzales, 2016)** Realizo una tesis en la ciudad de Huancayo, para optar el grado profesional de Ingeniero Civil, titulado “Utilización de Bolsas de Polietileno Para el Mejoramiento de Suelo a Nivel de la Subrasante en el Jr. Arequipa, Progresiva Km 0+000-Km 0+100, distrito de Orcotuna Concepción”, objetivo general: Cómo influye las bolsas de polietileno en el mejoramiento de suelo a nivel de la subrasante en el Jr. Arequipa, progresiva KM 0+000 - KM 0+100 del distrito de Orcotuna – Concepción.

**Conclusión.** Con la adición de polímeros reciclados, obtenidos de las bolsas de polietileno fundido en forma de grumos, se mejora las propiedades física y mecánicas, se comprobó que la muestra del tramo de la progresiva KM 0+000 - KM 0+100 presenta gran presencia de arcilla. La problemática se debe a que la subrasante es un suelo plástico y de mala granulometría, conviene que sea bien graduada, con una granulometría continua y no uniforme, al adicionar bolsas de polietileno fundido en forma de grumos el suelo hace que tenga mayor fricción y por ende hace que presente mayor capacidad portante. **(Leiva Gonzales, 2016).**

**(Del Rio Huamán, 2017).** Realizo una tesis en la ciudad de Lima, para optar el título profesional de Ingeniero Civil, titulado “Optimización de la estabilización de suelos arcillosos en el sector Curva del Sun – Campiña de Moche, con concreto reciclado para pavimentación, provincia de Trujillo, La Libertad– 2017”, objetivo general: determinar el nivel de optimización de la estabilización de suelos arcillosos con concreto reciclado para fines de pavimentación en el sector Curva del Sun, Moche, Trujillo – La Libertad.

**Conclusión.** Se determinó el nivel de optimización de la estabilización de suelos arcillosos con concreto reciclado para fines de pavimentación teniendo como resultados que la adición de concreto reciclado a suelos arcillosos logra aumentar el índice CBR desde un promedio de 9.52 para el suelo sin adición de concreto reciclado, pasando por 10.8 para un 11% de concreto adicionado, 12.2 para un 13%, llegando a un índice CBR de 13 para un 15% de concreto reciclado.**(Del Rio Huamán, 2017).**

**(Díaz Vásquez, 2018).** Realizo una tesis en la ciudad de Lima, para optar el título profesional de Ingeniero Civil, titulado “Mejoramiento de la Subrasante mediante ceniza de cáscara de arroz en la carretera Dv San Martin”, objetivo general: Analizar si la ceniza de cáscara de arroz puede aportar en el mejoramiento de la subrasante en la carretera Dv San Martin.

**Conclusión.** Se muestra que el suelo estabilizado con ceniza de cáscara de arroz trae cambios favorables que hacen posible usar el material a nivel de subrasante. Sin embargo, los cambios más significativos se producen cuando se combina el suelo arcilloso con ceniza de cáscara de arroz con una combinación del 20 % de ceniza de

casaca de arroz logrando así que la capacidad portante de la subrasante aumente, los resultados que se obtuvieron de CBR al 95 % su aumento fue de 8.0% hasta 13.80% y el CBR al 100% de 9.7% a 15.2%. **(Díaz Vásquez, 2018).**

**(Ramos Pereira, 2019).** Realizo una tesis en la ciudad de Moquegua, para optar el título profesional de Ingeniero Civil, titulado “Mejoramiento de la Capacidad de Soporte del Suelo a nivel de Sub Rasante a travez de la Utilización del Sistema Rocamix entre la prolongación de la Avenida san Antonio de Padua y de la calle 04 de la Asociación de Vivienda 2 de Octubre del Centro Poblado San Antonio – Moquegua, 2017” objetivo general: Mejorar la capacidad de soporte del suelo a nivel de sub rasante mediante la utilización del sistema rocamix entre la prolongación de la Av. San Antonio de Padua y de la calle 04 de la asociación de vivienda 2 de octubre del C. P. San Antonio- Moquegua.

**Conclusión.** Se realizó la identificación de las propiedades mecánicas y físicas de la subrasante en estudio del terreno natural, concluyendo que son la base para el cálculo de la capacidad de soporte, observando, que el producto final de la evaluación (en este caso es el CBR) estaría dentro de las categorías de subrasante dadas por el MTC encontrándose en una subrasante buena teniendo un CBR al 100 % de la sub rasante de 38,2 % a 1”, un CBR al 95 % de 15,2 % a 1” y una expansión de 12,63 %, siendo este el promedio de las tres calicatas realizadas. **(Ramos Pereira, 2019).**

## 1.7. Antecedentes Internacionales

(**Gómez Mejjide, 2015**). Realizo una tesis doctoral en la ciudad de Coruña, para optar el grado de Doctor, titulado “Aplicación sostenible de residuos de Construcción y Demolición como Árido Reciclado de Mezclas Bituminosas en Frio”, objetivo general: Determinar las propiedades de los áridos reciclados de RCD empleados para la realización de la presente investigación, y compararlos con los áridos naturales de las muestras de control.

**Conclusión.** Desde un punto de vista global, se puede decir que las grava-emulsiones con RCD tienden a comportarse mejor que las de árido natural para contenidos de betún residual superiores al 4%. La mezcla óptima que se propondría es la del 9% de agua inicial (durante mezclado) y un contenido de betún en torno al 6% o 7%. Los resultados obtenidos con estas mezclas, son mejores que los obtenidos con árido natural en lo referente a propiedades como la resistencia a compresión simple, tracción indirecta, rigidez (más rígida a altas temperaturas y más flexible a bajas temperaturas) y resistencia a la deformación permanente. (**Gómez Mejjide, 2015**).

(**Quintero Esquivel , 2017**). Realizo un trabajo de grado en la ciudad de Bogotá, para obtener el grado académico de Ingeniero Civil, titulado “Suelo Cemento con Sustitución en franja granulométrica con Concreto Reciclado”, objetivo Analizar el comportamiento mecánico de una mezcla de suelo cemento con sustitución de concreto reciclado en una franja granulométrica pasa tamiz #10 retiene tamiz #60 de un material tipo B-50 cumpliendo con las características del artículo 350-13 del Invías.

**Conclusión.** Evaluando el concreto reciclado como una de las materias primas de las obras de estabilización con suelo cemento, se puede decir, que presenta un potencial de reutilización si evaluamos las bondades de la mezcla CR100% en cuanto a resistencia, puede que la consistencia y densidad puedan ser afectadas, pero el campo de estabilización de suelo puede ser un foco importante en la reutilización de materiales, en especial el concreto reciclado que fue el material analizado en esta investigación. **(Quintero Esquivel , 2017)**

**(Cuestas Manzo & Morales Bustos, 2017).** Realizo un trabajo de grado en la ciudad de Bogota, para obtener el grado académico de Ingeniero Civil, titulado “Evaluar el Comportamiento en las propiedades de un suelo arcilloso ubicado en la carretera 68 con calle 80 al ser mezclado con dosificaciones del orden 5%, 10%, 15% y 20% de escombros de concreto triturado.

**Conclusión.** Se obtuvo un suelo que presenta cambios físicos y mecánicos más altos que pueden servir como posible solución a la estabilización de suelos limo-arcilloso, como se observa en el análisis y en las diferentes figuras de los equivalentes de arena, y de plasticidad los cambios presentan un resultado significativo que da como opción viable usar el RCD como un agregado de estabilización de suelos. **(Cuestas Manzo & Morales Bustos, 2017)**

**(Blacio Reyes , 2018).** Realizo un trabajo de grado en la ciudad de Loja - Ecuador, para obtener el grado académico de Magister en Ingeniería Civil, titulado “Diseño de rellenos fluidos con el uso de los materiales reciclados obtenido de los escombros producidos por el terremoto en la provincia de

Manabí, como reemplazo de las bases granulares de la estructura de las vías”, Objetivo General, Investigar y diseñar Rellenos Fluidos con residuos de hormigón y mampostería de construcción y demolición de estructuras afectadas por el sismo de Pedernales 2016, como reemplazo de las bases granulares convencionales que forman parte de la estructura del pavimento de una vía.

**Conclusión.** Los RCD se los puede utilizar al 100 %, mediante el proceso de trituración para obtener AFR y que estos se utilicen en la elaboración de los RF, realizando ajustes a la planta de trituración, para que su producción sea totalmente de 3/16”, la cual es similar a una arena tritura, a un polvo de roca o filler. **(Blacio Reyes , 2018)**

**(Moscoso Sarmiento, 2019)**). Realizo un trabajo de grado en la ciudad de Cuenca - Ecuador, para obtener el grado académico de Ingeniero Civil con Énfasis en Gerencia de Construcciones, titulado “Estudio de la Capacidad Portante mediante el CBR, del Suelo de la mina de Chocarsi estabilizada con Cemento tipo MH”, Objetivo General, Determinar la capacidad portante (CBR) del suelo de la mina de Chocarsi con la incorporación de 3%, 5% y 7% de cemento tipo MH.

**Conclusiones.** Se muestra la variación de los límites de plasticidad con el incremento de 3%, 5% y 7% de cemento con relación al peso seco de suelo natural de la mina de Chocarsi, a medida que el contenido de cemento aumenta el índice plástico disminuye desde 10.40% hasta 7.04%. **(Moscoso Sarmiento, 2019)**

## 1.8. Bases Teóricas

- 1.8.1. **Contenido de Humedad** : (Norma Técnica Peruana NTP 339.160, 2001). El contenido de humedad de un suelo, es la suma de sus aguas, es decir se toma como muestra seca, la secada al horno a 110° C.
- 1.8.2. **Análisis Granulométrico** (Norma Técnica Peruana NTP 339.128 , 1999 (revisada el 2014)). Se llama también análisis mecánico, y consiste en la determinación de los porcentajes de piedra y grava, arena, limo y arcilla que hay en una cierta masa de suelo.
- 1.8.3. **Límites de Consistencia** (Norma Técnica Peruana NTP 339.129, 199). Por consistencia se entiende el grado de cohesión de las partículas de un suelo y su resistencia a aquellas fuerzas exteriores que tienen a deformar o destruir su estructura. Los límites de consistencia
- 1.8.4. **Método CBR** (Norma Técnica Peruana NTP 339.145, 1999). Establece en él una relación entre la resistencia a la penetración de un suelo, y su capacidad de soporte como base de sustentación para pavimentos flexibles. Si bien este método es empírico, se basa en un sin número de trabajos de investigación llevada a cabo tanto en los laboratorios de ensayos de materiales, como en el terreno, lo que permite considerarlo como uno de los mejores procedimientos prácticos sugeridos hasta hoy.
- 1.8.5. **Humedad óptima y densidad máxima (Proctor)** (Norma Técnica Peruana NTP 339.141, 1999). La falta de una adecuada compactación, es causa de muchas fallas en los pavimentos. La estabilidad de una obra vial exige que las diferentes capas de un pavimento se hallen debidamente compactadas. Esta compactación deberá efectuarse mediante equipos especiales como las aplanadoras, rodillos lisos.

### **1.8.6. Subrasante**

Es una de las capas más importantes para el diseño de pavimentos flexibles, ya que su comportamiento depende de sus propiedades mecánicas, por ello un estudio geotécnico previo es vital para determinar las características del suelo y tomar decisiones dependiendo de la tipología del suelo.

Menéndez (2012, p.19) dice: Para el diseño del pavimento se requiere en primer término conocer las propiedades de los suelos que servirán como suelo de fundación o subrasante pudiendo ser naturales o transportados como el caso de los rellenos.

## **1.9. Hipótesis**

Mediante la adición de concreto reciclado al suelo arcilloso de la subrasante, se mejora la capacidad de soporte, del distrito de Carabayllo, Calle 19 tramo: Km 0+000 - 0+720.

## **1.10. Definiciones Conceptuales**

Es un proceso por el cual una variable se convierte en un elemento medible a través de operaciones secuenciales, requiriendo de dimensiones e indicadores específicos de medición.

Menéndez (2007, p.104) dice: La medición es un proceso inherente y consustancial a toda investigación, sea ésta cualitativa o cuantitativa. Medimos principalmente variables y ello demanda considerar tres elementos básicos: dimensiones, indicadores y escala de medición, de los datos medidos dependen, en buena parte, de la escala de medición que se adopte. He ahí la importancia de profundizar en el tema; la medición

es el proceso de asignar, según reglas bien definidas, números a propiedades de objetos.

Variables independientes

- X1= Concreto Reciclado

Variables dependientes

- Y1= Mejoramiento de suelo arcilloso de la subrasante

### Operacionalización de variables

TABLA 1 OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLE (INDEPENDIENTE)

VARIABLE INDEPENDIENTE	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES	INDICE
Concreto Reciclado	Morales (2014, p.39), dice “El reciclaje de los materiales de construcción posee importantes atractivos, y la gran ventaja es que soluciona paralelamente la eliminación de materiales de residuo, y ayuda a la conservación y mejoramiento del entorno”.	Adicionar la cantidad óptima de concreto reciclado para el mejoramiento de la capacidad de soporte de las arcillas en la subrasante.	Dosificación del Concreto Reciclado	5%	SUELO FINO
				15%	
				25%	
				35%	

Fuente: *Elaboración Propia*

**TABLA 2 OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLE (DEPENDIENTE)**

VARIABLE DEPENDIENTE	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES	INDICE
Mejoramiento de Suelo Arcilloso de la Subrasante	Para el Manual de Carreteras (Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos), MTC 2014 "Para CBR menores al 6% será materia de un estudio especial para la estabilización, mejoramiento o reemplazo, el cual se analizará alternativas como estabilización mecánica, o aditivos que ayuden mejorar las propiedades mecánicas del suelo"	Determinar las propiedades físicas y mecánica del suelo presente en el área de estudio y así poder realizar Mejoramiento de la Capacidad de Soporte (Proctor y CBR)	Capacidad de Soporte del Suelo	Análisis Granulométrico	Clasificación. SUCS Clasificación. ASSHTO
				Contenido de Humedad	%
				Límites de Consistencia	%
				Proctor Modificado	gr/cm <sup>3</sup> W óptimo (%)
				CBR al 0.1 CBR al 0.2	% CBR % CBR

Fuente: *Elaboración Propia*

## **CAPÍTULO II. METODOLOGIA**

### **2.1. Tipo de Investigación**

El tipo de investigación es aplicada y experimental, ya que nos apoyamos de la ciencia y teoría ya existente para aplicarla de manera directa en casos prácticos reales, en razón que se utilizara la adición de concreto reciclado para mejorar la capacidad de soporte de suelos arcillosos en la subrasante. La información obtenida a través de esta investigación deberá ser también aplicable en cualquier lugar y por tanto ofrece oportunidades significativas para su difusión. **(Zorrilla arena, 1985)**

#### **2.1.1. Nivel de investigación**

El nivel de esta investigación es descriptivo, ya que consiste en describir fenómenos y situaciones que se manifiestan. Los estudios descriptivos por lo general fundamentan las investigaciones, las cuales a su vez proporcionan información para llevar a cabo estudios explicativos que generan un sentido de entendimiento y son altamente estructurados **(Dankhe, 1986)**.

#### **2.1.2. Diseño de la Investigación**

Esta investigación se basó en conocimientos existentes, sobre los diferentes procesos y materiales, para el mejoramiento de suelos arcillosos, como por ejemplo con caucho granular utilizable para la construcción de pavimentos por la sociedad y que contribuya a la conservación del medio ambiente. También por su fin, es de tipo proyectiva porque se orienta a elaborar una propuesta dirigida a resolver un problema existente en la sociedad. **(Hurtado de Barera, 2008)**. , **(Hérrnandez Sampiere, 2010)**

## 2.2. Métodos Empleados

### 2.2.1. Métodos de Observación.

Se realizó un reconocimiento del área a analizar, apoyándonos de la clasificación visual para determinar el tipo de suelo que existe en el distrito de Carabaylo, Calle 19 tramo: Km 0+000 - 0+720.

### 2.2.2. Método Inductivo.

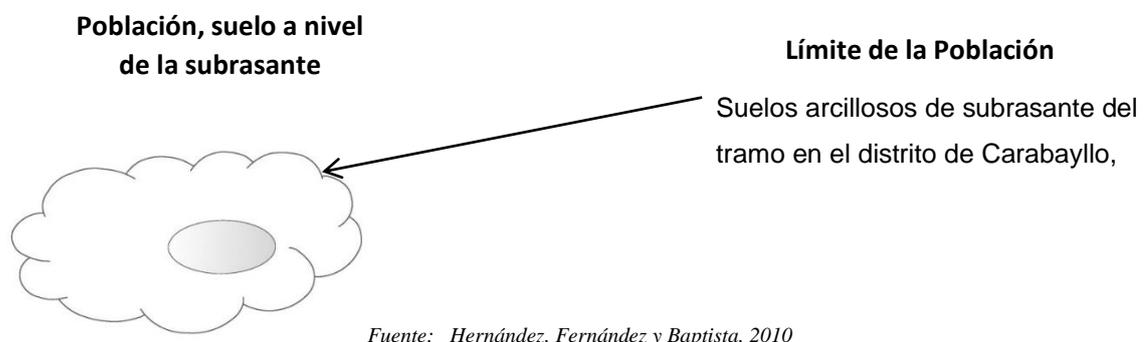
Se inicia con el análisis de casos particulares a casos generales, que se aplicaron en el laboratorio con adición de concreto reciclado para el mejoramiento de suelos arcillosos de subrasante en el distrito de Carabaylo, Calle 19 tramo: Km 0+000 - 0+720

### 2.2.3. Método Comparativo.

Este método hace referencia a la comparación de los resultados obtenidos en el laboratorio después de realizar los ensayos con la adición de concreto reciclado al suelo arcilloso.

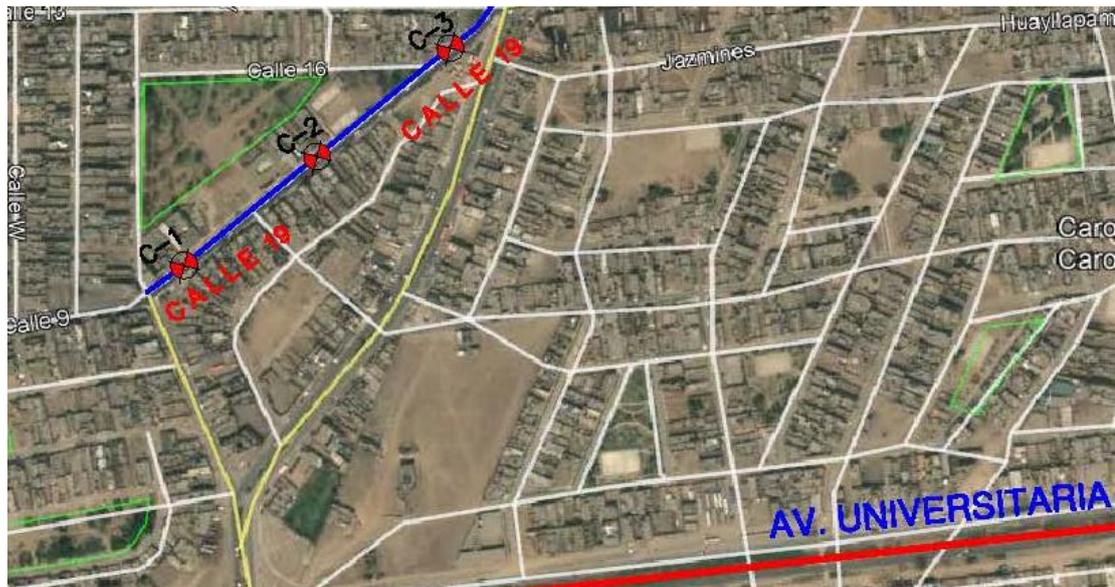
## 2.3. Población y Muestra

FIGURA 1 REPRESENTACIÓN DE LA POBLACIÓN



(Bernal Torres, 2016) dice: Población es el conjunto de todos los elementos a los cuales se refiere la investigación.

**FIGURA 2 UBICACIÓN DE LA POBLACIÓN**



Fuente: Elaboración Propia

### 2.3.1. Muestra

La recolección de muestra será obtenida mediante tres excavaciones geotécnicas de 1.50 m de profundidad. En la calle 19 tramo: Km 0+000 - 0+720

### 2.3.2. Tipo de Muestreo.

La cantidad de muestra está sujeta a lo que indica la norma C.E -010 Pavimentos Urbanos, señala que debe realizar en una vía colectará 1 calicata cada 1500 metros cuadrados, sin embargo, menciona que si requiere mayor investigación se puede aumentar la cantidad de exploraciones delimitando la zona, en este caso los valores representativos de los ensayos serán solo válida para dicha área investigada.

En esta investigación se realizó 3 exploraciones de manera equidistantes, con el fin de obtener las muestras que cumplan con sus propiedades geotécnicas y obtener los resultados más confiables en términos de investigación.

## **2.4. Técnicas y Materiales**

### **2.4.1. Técnicas**

En primer lugar, nos apoyamos de uno de los criterios de la geotecnia que se encarga del estudio de las propiedades mecánicas e ingenieriles de los materiales mediante el estudio de las propiedades del suelo en campo y ensayos de laboratorio que en conjunto nos indica las características de soporte del suelo o en qué condiciones se encuentran dependiendo cual sea el enfoque o trabajo a realizar. Hay que tener en cuenta para este trabajo de investigación que no estamos apoyando de unas de las técnicas de la geotecnia para obtener resultados confiables por ello los ensayos se realizaran en un laboratorio de mecánica de suelos (LEMICONS). Haciendo uso de los materiales de laboratorio como Tamices, Copa Casa Grande, Moldes, Cocina, etc

### **2.4.2. Materiales**

Los materiales que se utilizarán en los ensayos de laboratorio serán los siguientes

#### **❖ Contenido de Humedad**

- Horno de secado termostáticamente controlado capaz de mantener una temperatura de  $110 \pm 5$  °C.
- Balanzas de capacidad conveniente con aproximaciones de 0.01 g para muestras menores a 200g y de 0.1 para muestras de más de 200g.
- Recipientes apropiados de material resistente a la corrosión, y al cambio de peso cuando es sometido a enfriamiento o calentamiento
- Utensilios para manipulación de recipientes, guantes, tenazas, cuchillos, espátulas, cucharas, lona para cuarteo.

❖ **Límites de Consistencia (límite Plástico – límite líquido)**

- Espátula de hoja de flexible de unos 75 a 100 mm (3” – 4”) de longitud por 20 mm (3/4”) de diámetro.
- Balanza con aproximación a 0.01 g
- Horno o estufa termostáticamente controlado regulable a  $110 \pm 5$  °C
- Tamiz de 426  $\mu$ m (N° 40)
- Agua destilada
- Vidrios de reloj o recipientes adecuados para determinación de humedades
- Superficie de rodadura (vidrio grueso esmerilado)
- Recipiente de porcelana de 115 mm (4 1/2") de diámetro aproximadamente
- Aparato de límite líquido (Copa Casagrande), consiste en una taza de bronce con sus aditamentos, construido de acuerdo con las dimensiones establecidas
- Acanalador conforme con las medidas establecidas
- Balanza con sensibilidad de 0.01g

❖ **Análisis Granulométrico por tamizado**

- Dos balanzas con sensibilidad de 0.01g para pesar material que pase el tamiz de 4.760mm (N°4). Otra con sensibilidad de 0.1% del peso de la muestra, para pesar los materiales retenidos en el tamiz de 4.760mm (N°4)
- Estufa capaz de mantener temperaturas uniformes y constantes de  $110 \pm 5$  °C.
- Tamices de malla cuadrada

**TABLA 3 JUEGO DE TAMICES**

TAMICES	ABERTURA (mm)
3"	75.000
2"	50.800
1 1/2"	38.100
1"	25.400
3/4"	19.000
3/8"	9.500
# 4	4.760
# 10	2.000
# 20	0.840
# 40	0.425
# 60	0.260
# 140	0.106
# 200	0.075

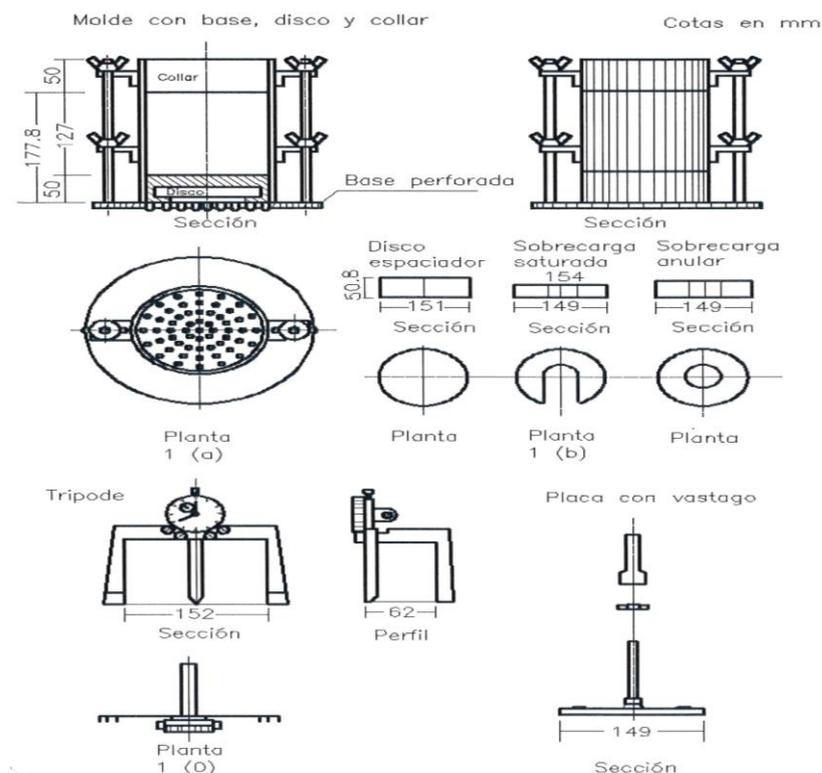
Fuente: *Manual de Ensayos de Materiales R.D N° 18-2016-MTC/14*

- Envases adecuados para el manejo y secado de las muestras
- Cepillo y brocha para limpiar las mallas de los tamices
- ❖ **Compactación de Suelos en Laboratorio Utilizando una Energía Modificada (Proctor Modificado)**
  - Regla recta metálica, rígida de una longitud conveniente no menor de 254 mm (10 pulgadas). La longitud total de la regla recta debe ajustarse directamente a una tolerancia de  $\pm 0.1$  mm ( $\pm 0.005$  pulgadas). El borde de arrastre debe ser biselado.
  - Tamices o mallas de 19.0mm (3/4"), 9.5mm (3/8") y 4.75 mm (N° 4), conforme a las indicaciones correspondientes (ASTM E11)
  - Cucharas, morteros, mezclador, paleta, espátula, botella de spray o equipo mecánico para la mezcla de toda la muestra de suelo.

❖ **CBR de Suelos (California Bearing Ratio)**

- Prensa parecida que se usa para los ensayos de compresión, utilizada para forzar la penetración, el pistón se aloja en el cabezal.
- Molde de metal cilíndrico de  $152.4 \text{ mm} \pm 0.66 \text{ mm}$  ( $6 \pm 0.026''$ ) de diámetro interior y de  $177.8 \pm 0.46$  ( $7 \pm 0.018$ ) de altura, provisto de un collar de metal suplementario de  $50.8 \text{ mm}$  ( $2.0''$ ) de altura y una placa de base perforada de  $9.53 \text{ mm}$  ( $3/8''$ ) de espesor. Las perforaciones de la base no excederán de  $1.6 \text{ mm}$  ( $281/16''$ ) las mismas que deberán estar espaciadas en la circunferencia interior del molde.
- Disco espaciador de metal de forma de circulas de  $150.8 \text{ mm}$  ( $5 \text{ } 15/16''$ ) de diámetro exterior y de  $61.37 \pm 0.127 \text{ mm}$  ( $2.416 \pm 0.005''$ ) de espesor.
- Pistón de compactación para realizar el ensayo de proctor modificado

**FIGURA 3 PROCTOR MODIFICADO (MATERIALES)**



Fuente: *Manual de Ensayos de Materiales R.D N° 18-2016-MTC/14*

### **2.4.3. Procedimiento de Recolección, Tratamiento y Análisis de Datos**

Durante los trabajos de exploración geotécnica y con la finalidad de determinar el perfil estratigráfico del tramo en estudio se realizaron exploraciones de campo mediante excavaciones y ensayos de laboratorios las mismas que fueron distribuidas convenientemente.

#### **Análisis de Datos**

Luego de la recolección de datos se procedió a analizar la información obtenida en campo el cual permita registrar fechas y ubicación de las muestras que van hacer estudiadas por un laboratorio de Mecánica de Suelos (Lemicons), ya que de ello depende la confiabilidad de los datos para el mejoramiento de suelo arcilloso de la subrasante.

#### **Instrumentos Para Levantamientos de Información**

Los instrumentos de levantamientos de datos que se utilizaron son mediante la observación apoyados del estudio de mecánica de suelos, ya que tomar datos depende de la observación directa, el cual fue desarrollado por trabajos en campo, ensayos de laboratorio y gabinete.

Se procedió en primer lugar a realizar la calicata hasta los 1.50m de profundidad, continuando con el logeo de la excavación indicando de manera visual las propiedades mecánicas del suelo, realizando el muestreo para la realización de los ensayos de laboratorio correspondiente tal como muestra la siguiente tabla.

**TABLA 4 INSTRUMENTOS PARA LEVANTAMIENTO DE INFORMACIÓN**

FUENTES	TECNICAS	INSTRUMENTOS
TRABAJOS DE CAMPO	Ubicación de Calicatas Clasificación Visual Muestreo de Suelos	GPS Formato de Logueo Cantidad de Ensayos
ENSAYOS DE LABORATORIO	Análisis Granulométrico Contenido de Humedad Límites de Consistencia Proctor Modificado CBR	Balanzas y Tamices Horno de Secado Termostáticamente Copa Casagrande Equipo Mecánico Pistón de Compactación
TRABAJO DE GABINETE	Procesamiento de ensayos de laboratorio	Interpretación de Ensayos

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

Formatos tanto de campo como Ensayos de Laboratorio.

- Registro de Excavación (Muestreo) – Campo
- Ensayo de Contenido de Humedad – Laboratorio
- Ensayo de Análisis Granulométrico - Laboratorio
- Ensayo de Límites de Consistencia (Limite líquido, limite plástico, Índice de Plasticidad) - Laboratorio
- Ensayo de Proctor Modificado – Laboratorio
- Ensayo de CBR – Laboratorio

## 2.5. Aspectos éticos

El desarrollo de esta investigación tiene como fin buscar alternativas de solución sostenibles, ya que pretende aportar con la preservación del medio ambiente reduciendo la explotación de recursos naturales. Por ello los resultados obtenidos de esta investigación serán respaldados por los trabajos en campo y laboratorio demostrando la veracidad de los resultados. Según refiere Ladriere (2000), “es una actividad encaminada a la solución de problemas. Su objetivo consiste en hallar respuestas a las preguntas mediante el empleo de procesos científicos”

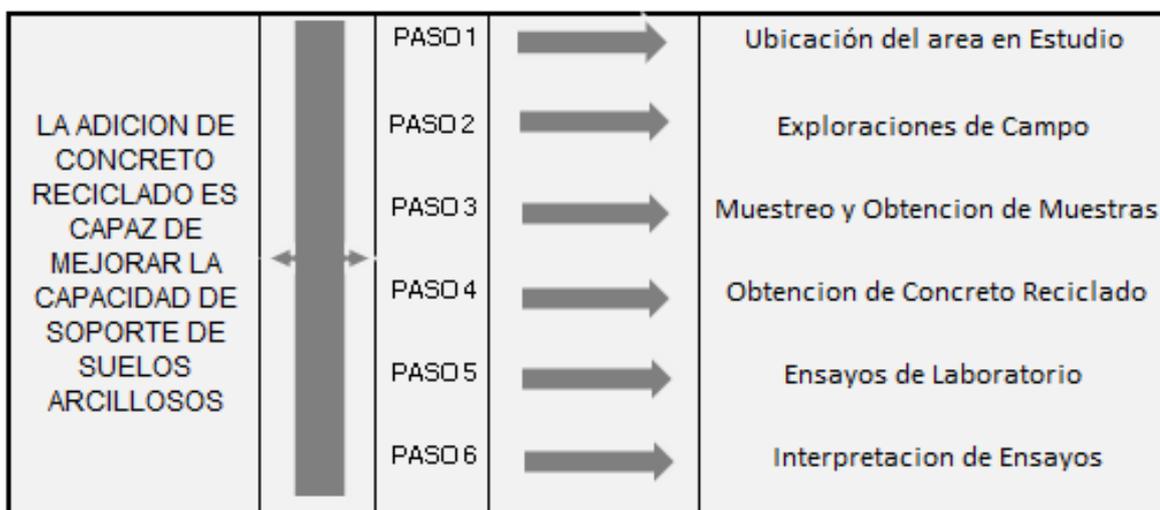
Uno de los factores éticos que hay que recalcar en esta investigación es la honestidad y el esfuerzo por dar a conocer que si existen alternativas ingenieriles que no afecten a la humanidad “todo esfuerzo humano que se orienta hacia el bien general es encomiable”. Montes. (2000).

## CAPÍTULO III. RESULTADOS

### 3.1. Resultados de los ensayos de laboratorio

Los resultados se obtuvieron en el Laboratorio de Ensayos de Materiales Ingeniería y Construcción (LEMICONS SRL), para responder a la pregunta de investigación se tuvo que seguir un criterio lógico de la mecánica de suelos, el cual consta por trabajos tanto en campo como en laboratorio.

FIGURA 4 CRITERIO LÓGICO (MECÁNICA DE SUELOS)



FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

#### 3.1.1. Ubicación del área en estudio

La zona del proyecto está conformada por el distrito de Carabayllo, ubicado en la zona conocida como Lima Norte o Cono Norte. Se cuenta con una población de 213,386 habitantes al año 2007. A la tasa intercensal de 5,09% se tiene una población proyectada al año 2011 (Año 0) de 260,225 habitantes

#### 3.1.2. Exploraciones de Campo

En el área, en estudio de realizo exploraciones a 1.50 m de profundidad con el fin de determinar la estratigrafía del suelo al cual se va a realizar el mejoramiento de la capacidad de soporte de suelo arcilloso con adición de concreto reciclado.

### **3.1.3. Muestreo y obtención de muestras**

Durante las exploraciones de campo se logueo la estratigrafía del suelo y se extrajo muestras representativas para ser ensayadas en el laboratorio y determinar su capacidad de soporte.

### **3.1.4. Obtención de concreto reciclado**

La obtención del concreto reciclado se obtuvo mediante trituración manual, luego fue tamizado por el tamiz de 3/8 de pulgada. El material pasante a dicha malla, es el que se va a utilizar para realizar el mejoramiento de la capacidad de soporte del suelo arcilloso cuyas dosificaciones son de 5%, 15%, 25% y 35%. Estas dosificaciones serán mezcladas con el suelo natural y serán sometidas a ensayos ya indicados con el fin de comprobar su comportamiento mecánico.

### **3.1.5. Ensayos de laboratorio**

Los ensayos de laboratorio que se realizarán para esta investigación serán según la Norma Técnica Peruana. Por ello el material natural (arcilla), al igual que las dosificaciones (concreto reciclado) serán sometidas a los mismos ensayos con el fin de determinar cómo se comporta sus propiedades mecánicas dando a demostrar que con la adición de concreto reciclado la capacidad de soporte de la arcilla puede mejorar. Los ensayos que se realizaran son los siguientes

#### **Ensayo de Análisis Granulométrico**

Juárez Badillo (1976), menciona en su publicación Mecánica de suelos, Tercera Edición: que la gráfica granulométrica se representa con porcentajes como ordenadas y tamaños de partículas como abscisas. Representado el 100 % de sus partículas en peso, a través de la siguiente relación.

D60 = Tamaño tal, que 60% en peso, del suelo, sea igual o menor

D10 = Llamado por hazen diámetro efectivo, es el tamaño tal que sea igual o mayor que el 10%, en peso, del suelo

D30 = Se define análogamente que los D10 y D60 anteriores.

#### ECUACIÓN 1. COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD

$$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}}$$

$$C_u = \frac{(D_{30})^2}{D_{10}}$$

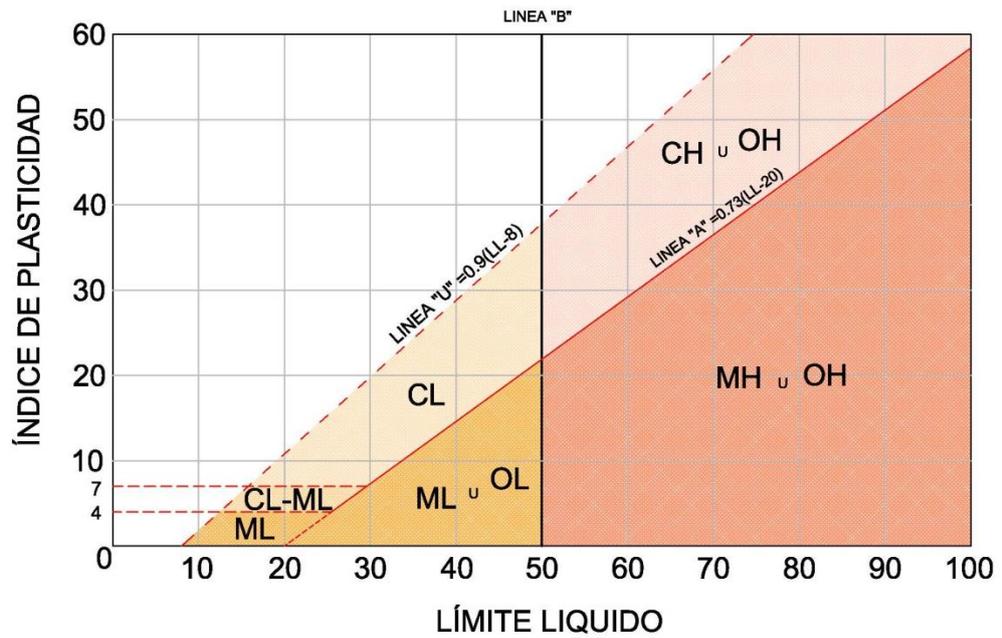
#### ECUACIÓN 2. COEFICIENTE DE CURVATURA

$$C_c = \frac{(D_{30})^2}{(D_{10} \cdot D_{60})}$$

### Clasificación SUCS Y ASSHTO

Mamani y Yataco,(2011) dice: que el método para la clasificación SUCS suelos finos parte del tamiz N° 200, el cual subdivide en dos grupos, los suelos gruesos y finos. Los suelos finos se clasifican por la carta de plasticidad Casagrande.

FIGURA 5 LÍMITES DE ATTERBERG (CARTA DE PLASTICIDAD)



FUENTE: CONANMA (2016). GEOTECNIA

Según (ASTM D-3282,1973) define lo siguiente: Este sistema clasifica a los suelos según el tamaño de sus partículas, y según su plasticidad (IP); sin embargo, éste sistema no da mucha descripción del material, pero si su aplicación en cuanto a carreteras y a tecnología del concreto.

FIGURA 6 SISTEMA DE CLASIFICACIÓN AASHTO

Clasificación	Materiales granulares (35% o menos pasa por el tamiz N° 200)						Materiales limoso arcilloso (más del 35% pasa el tamiz N° 200)				
	A-1		A-3	A-2-4				A-4	A-5	A-6	A-7 A-7-5 A-7-6
Grupo:	A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7				
Porcentaje que pasa: N° 10 (2mm) N° 40 (0,425mm) N° 200 (0,075mm)	50 máx 30 máx 15 máx	- 50 máx 25 máx	- 51 mín 10 máx	- - 35 máx				- - 36 mín			
Características de la fracción que pasa por el tamiz N° 40											
Límite líquido	-		-	40 máx	41 mín	40 máx	41 mín	40 máx	41 mín	40 máx	41 mín (2)
Índice de plasticidad	6 máx		NP (1)	10 máx	10 máx	11 mín	11 mín	10 máx	10 máx	11 mín	11 mín
Constituyentes principales	Fracmentos de roca, grava y arena		Arena fina	Grava y arena arcillosa o limosa			Suelos limosos		Suelos arcillosos		
Características como subgrado	Excelente a bueno						Pobre a malo				

FUENTE: PALOMINO (2016)

### Ensayo de Contenido de Humedad

Ramos,(2019) dice: Es la relación del peso de agua que tiene una masa de suelo, el cual se representa en porcentajes según la norma (MTC, 2016)

#### ECUACIÓN 3. CONTENIDO DE HUMEDAD

$$W = \frac{W_1 - W_2}{W_2 - W_t} \times 100 = \frac{W_w}{W_s} \times 100$$

Donde:

W = Contenido de humedad, (%)

WW = Peso del agua

WS = Peso seco del material

W1 = Peso de tara más el suelo húmedo

W2 = Peso de tara más el suelo seco en horno

W3 = Peso de tara

### **Ensayo de Límites de Consistencia (Límite líquido, límite plástico, Índice de Plasticidad)**

(Juárez Badillo y Rico Rodríguez, 2016 p. 123) nos indican que: “*la plasticidad es la propiedad que tiene un material por la cual es capaz de soportar deformaciones rápidas*”. Es por ello que los suelos arcillosos son por naturaleza plásticos, dependiendo del contenido de agua que se encuentre en este material, produciendo cambios volumétricos.

#### **ECUACIÓN 4. ÍNDICE DE PLASTICIDAD**

$$IP = LL - LP$$

Dónde:

L.L = Límite líquido

L.P = Límite plástico

I.P = Índice plástico

### **Ensayo de Proctor Modificado**

(Braja M. Das, 2014 p. 98) indica que “*para realizar el ensayo de Proctor modificado se utiliza un molde de 943.3 cm<sup>3</sup> y se compacta en 5 capas con un martillo que pesa 44.5 N y tiene una caída de 457.2 mm*”, por el cual este ensayo proporciona controlar el porcentaje de compactación y el contenido de humedad obteniendo una curva de compactación.

#### **ECUACIÓN 5. DENSIDAD HÚMEDA**

$$\rho_m = \frac{(M_t - M_{md})}{1000 * V}$$

Donde:

$\rho_m$  = Densidad húmeda del espécimen compactado (mg/m<sup>3</sup>)

M<sub>t</sub> = Masa del espécimen húmedo y molde (kg)

V = Volumen del molde de compactación (m<sup>3</sup>)

**ECUACIÓN 6. DENSIDAD SECA**

$$\rho_d = \frac{\rho_m}{1 + \frac{W}{100}}$$

Donde:

$\rho_d$  = Densidad seca del espécimen compactado ( $\text{mg}/\text{m}^3$ )

W = contenido de agua (%)

**ECUACIÓN 7. PESO UNITARIO**

$$\gamma_d = 62,43 \text{ pd en lb}/\text{ft}^3$$
$$\gamma_d = 9,807 \text{ pd en kN}/\text{m}^3$$

$\gamma_d$  = 62.43 pd en  $\text{lb}/\text{ft}^3$

$\gamma_d$  = 9.807 pd en  $\text{Kn}/\text{m}^3$

Donde:

$\gamma_d$  = Peso unitario seco del espécimen compactado.

**ECUACIÓN 8. CURVA DE SATURACIÓN**

$$W_{sat} = \frac{(\gamma_w)(G_s) - \gamma_d}{(\gamma_d)(G_s)} \times 100$$

Donde:

Wsat = Contenido de agua para una saturación completa (%)

$\gamma_w$  = Peso unitario del agua 62.43  $\text{lb}/\text{ft}^3$

$\gamma_d$  = Peso unitario seco del suelo

Gs = Gravedad Especifica del suelo

### Ensayo de CBR

(Rondon Quintana y Reyes Lizcano, 2015 p. 380) Nos indican que: “*El estudio de CBR es ampliamente utilizado para el diseño de pavimentos flexibles, puede determinarse in situ o en un laboratorio de mecánica de suelos*”

El CBR es un ensayo especial el cual determina la capacidad de soporte que tiene los suelos y va a depender del valor del cbr si el material es bueno o malo.

#### ECUACIÓN 9. PORCENTAJE DE AGUA

$$\% \text{ de agua a añadir} = \frac{H - h}{100 + h} \times 100$$

Donde:

H = Humedad prefijada

h = Humedad Natural

#### ECUACIÓN 10. PORCENTAJE DE EXPANSIÓN

$$\% \text{ Expansión} = \frac{L2 - L1}{127} \times 100$$

Donde:

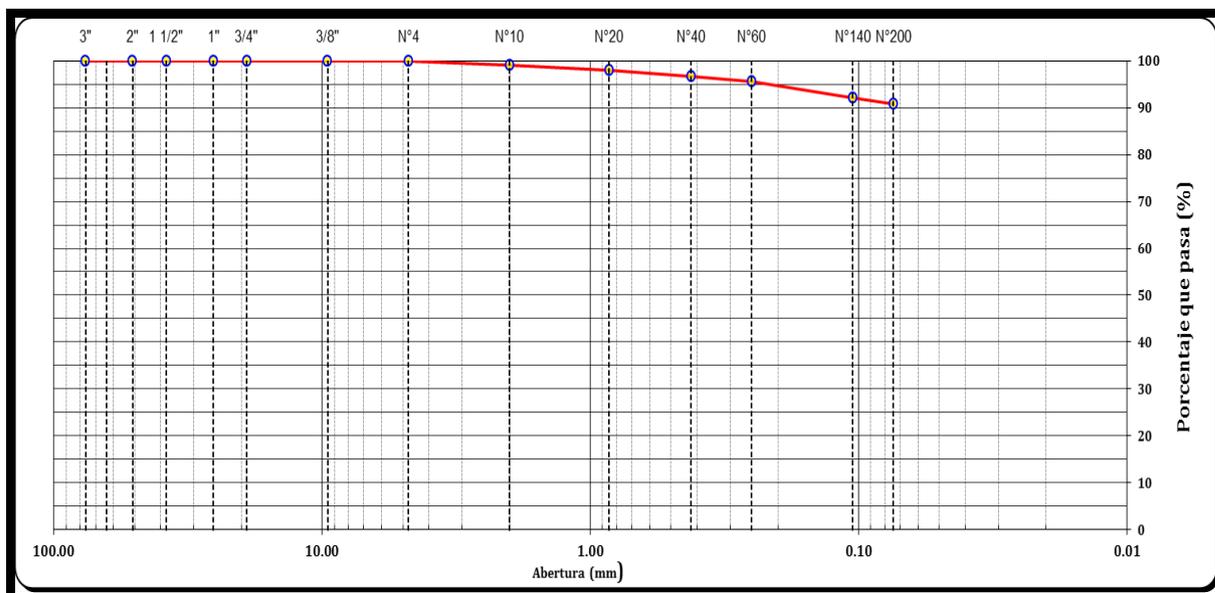
L1 = Lectura inicial en mm

L2 = Lectura final en mm

## Interpretación de los Resultados de Ensayos de laboratorio

### Material Natural

FIGURA 7 CURVA GRANULOMÉTRICA



Fuente: *Ensayo de Laboratorio - Lemicons*

Según el análisis granulométrico está clasificando como una arcilla de baja plasticidad (CL) conformado por 9.1% de arenas y 90.9 % de finos. El cual tiene una pasante de 90.9 % en la malla N° 200 típico de la arcilla.

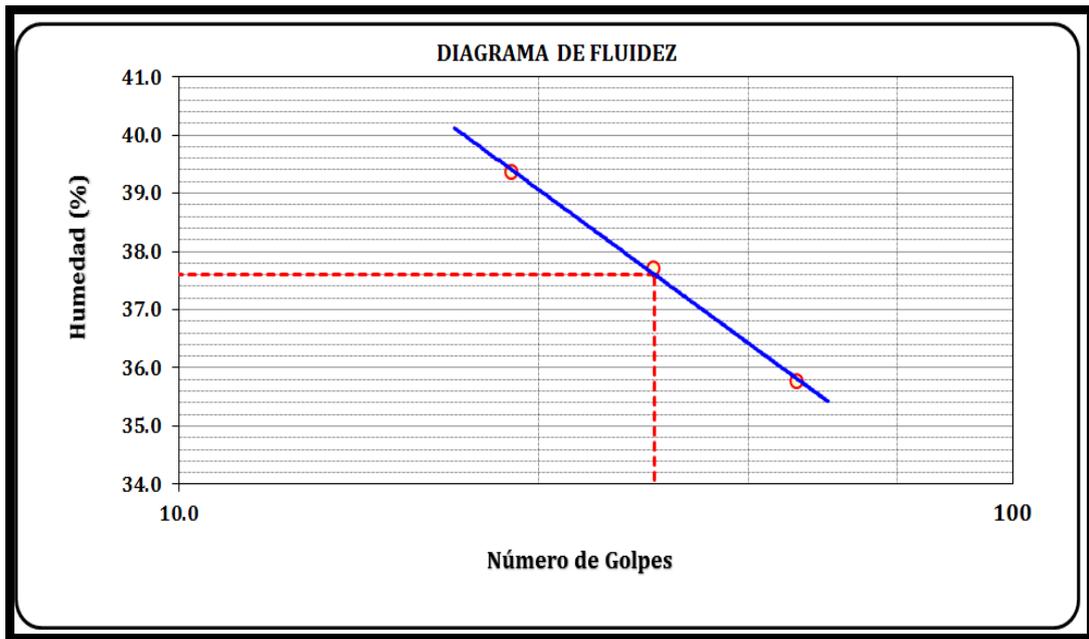
FIGURA 8 CONTENIDO DE HUMEDAD

**CONTENIDO HUMEDAD: 16 %**

Fuente: *Ensayo de Laboratorio - Lemicons*

El contenido de humedad nos indica que este suelo va experimentar cambios volumétricos por su alto porcentaje de humedad, el cual pone en riesgo las obras o construcciones a realizar.

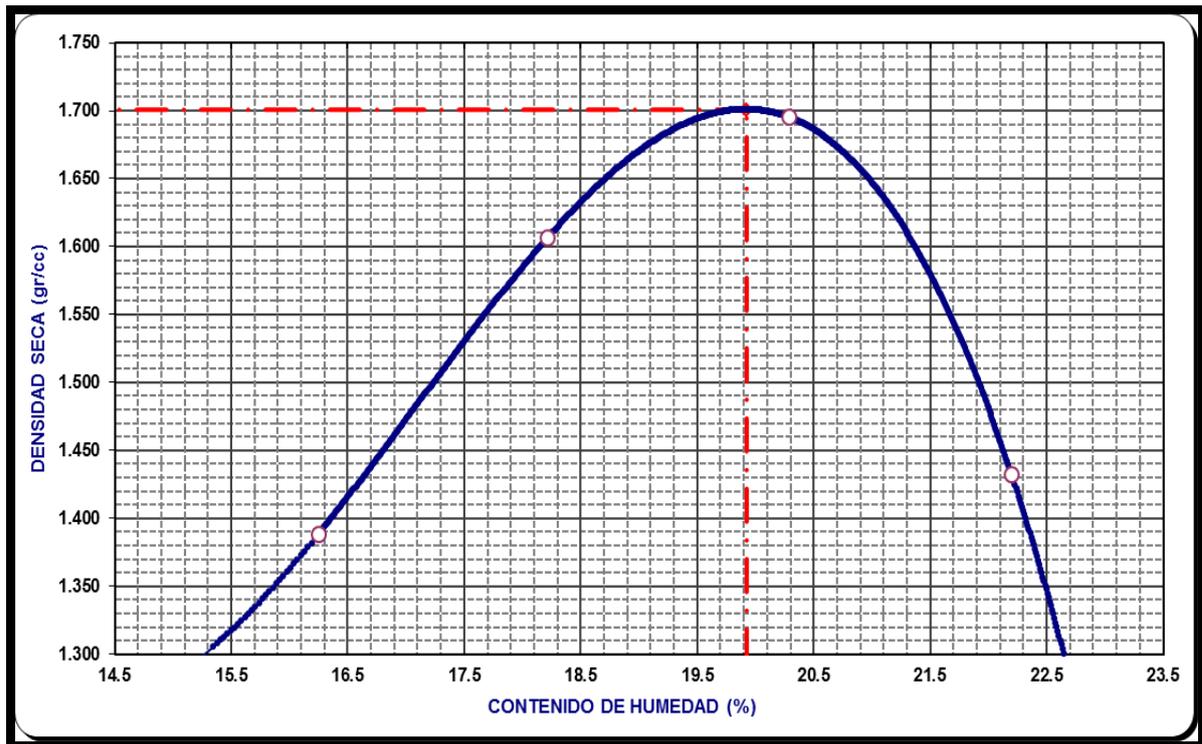
FIGURA 9 LIMITES DE CONSISTENCIA – LÍQUIDO Y PLÁSTICO



Fuente: *Ensayo de Laboratorio – Lemicons*

El suelo según los ensayos está dando un límite líquido (LL) de 38. Límite plástico (LP) de 21. Obteniendo un índice de plasticidad de 17, el cual indica que es un material plástico con cambios de volúmenes.

FIGURA 10 PROCTOR MODIFICADO



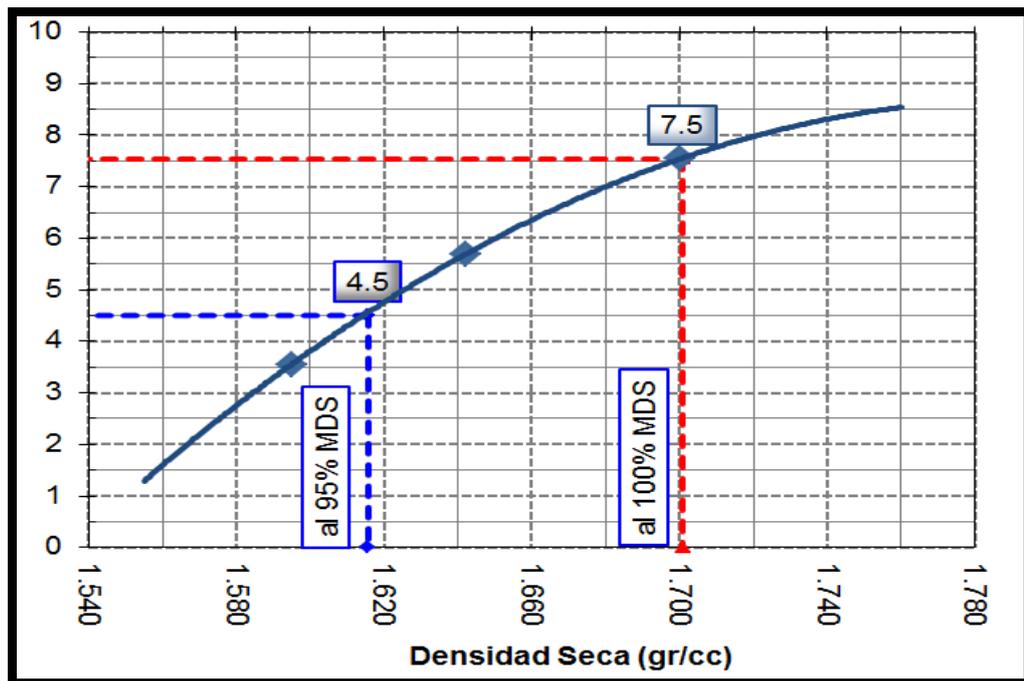
Fuente: *Ensayo de Laboratorio – Lemicons*

Este ensayo nos da como valor la densidad máxima seca y humedad óptima siendo sus valores los siguientes.

Densidad máxima seca = 1.701 gr/cc

Humedad óptima = 19.9 %

FIGURA 11 CALIFORNIA BEARING RATIO

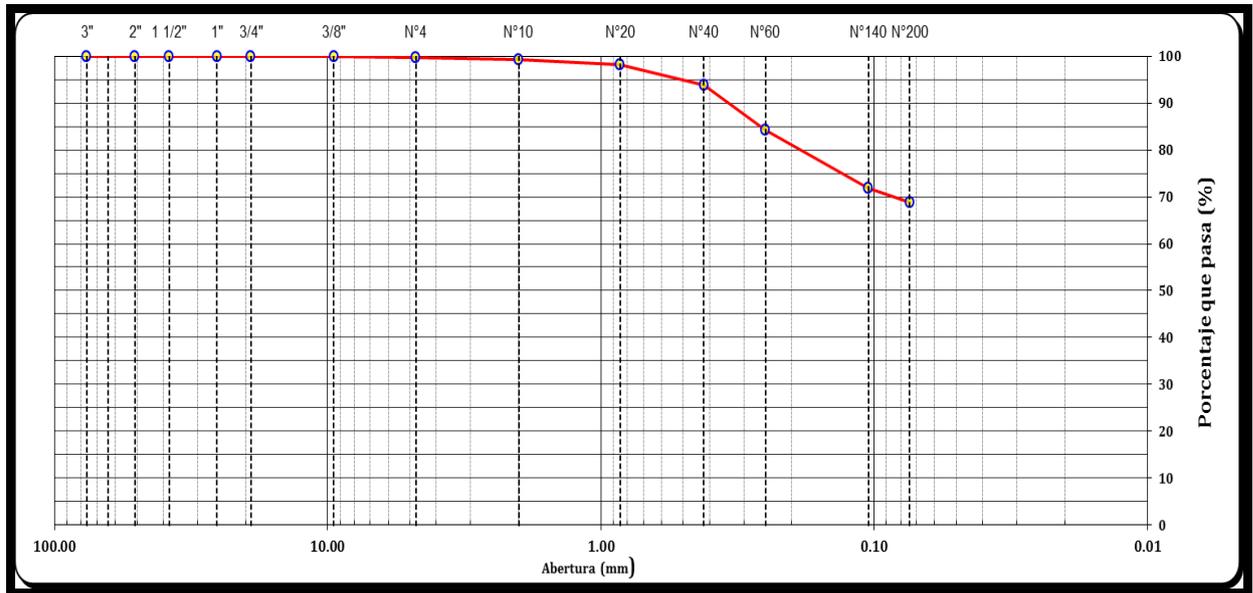


Fuente: *Ensayo de Laboratorio – Lemicons*

Observamos que el suelo en estudio en estado natural tiene una capacidad de soporte al 95% de 4.5%, cuyo valor es tomado para realizar decisiones ingenieriles en los diseños de pavimentos o mejoramientos de suelos es por ello de la importancia de la subrasante. Un cbr al 95% que está comprendido entre 2 – 5 quiere decir que el suelo de la subrasante es muy malo y necesita un mejoramiento y cumplir con las exigencias mecánicas.

**Material Natural + Concreto Reciclado (5%)**

**FIGURA 12 CURVA GRANULOMÉTRICA**



Fuente: *Ensayo de Laboratorio - Lemicons*

Según el análisis granulométrico está clasificando como una arcilla arenosa de baja plasticidad (CL) conformado por 0.2 % de gravas, 30.5% de arenas y 69.4 % de finos.

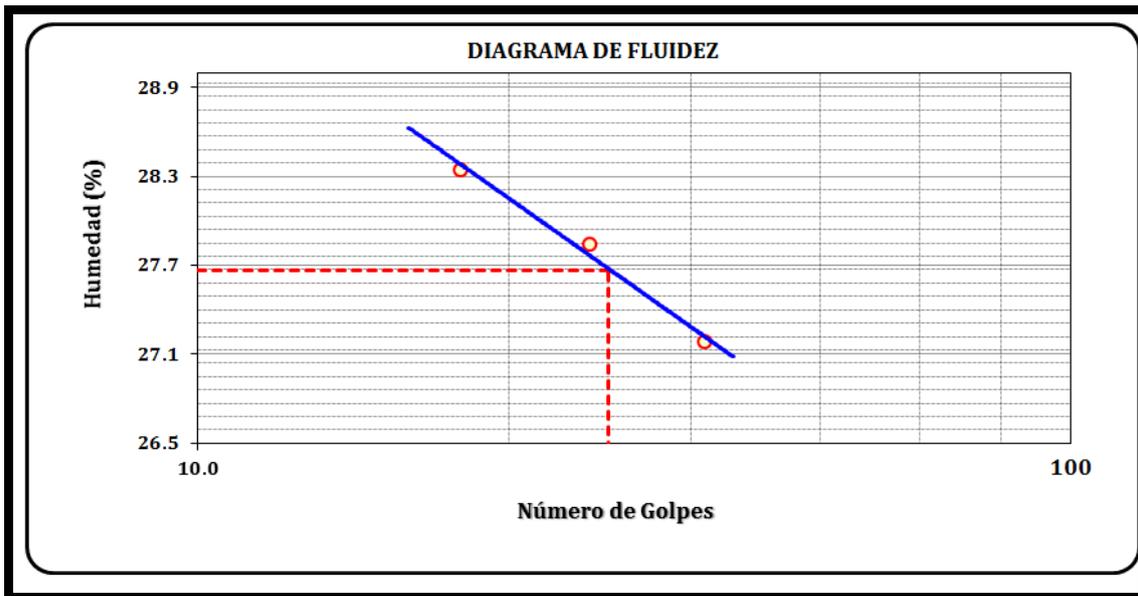
**FIGURA 13 CONTENIDO DE HUMEDAD**

**CONTENIDO HUMEDAD : 12 %**

Fuente: *Ensayo de Laboratorio - Lemicons*

Se puede apreciar que el contenido de humedad ha bajado 4 % respecto del material natural.

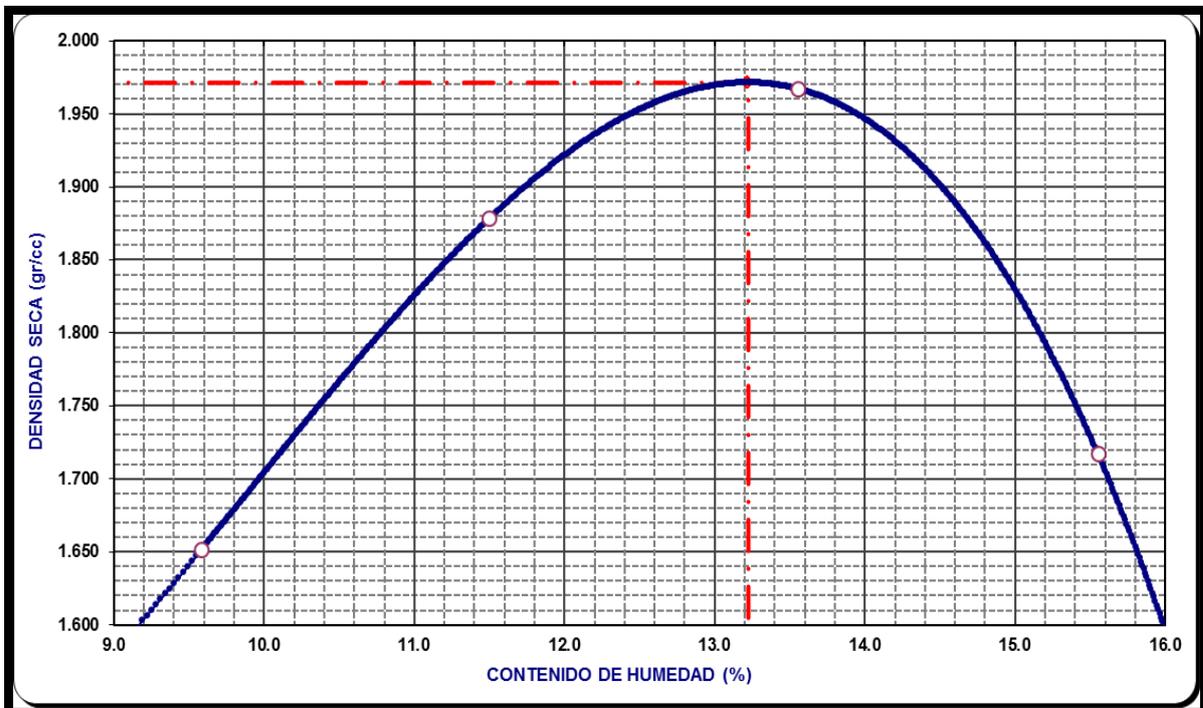
FIGURA 14 LÍMITES DE CONSISTENCIA – LÍQUIDO Y PLÁSTICO



Fuente: *Ensayo de Laboratorio – Lemicons*

El suelo según los ensayos está dando un límite líquido (LL) de 28. Límite plástico (LP) de 17. Obteniendo un índice de plasticidad de 11.

FIGURA 15 PROCTOR MODIFICADO



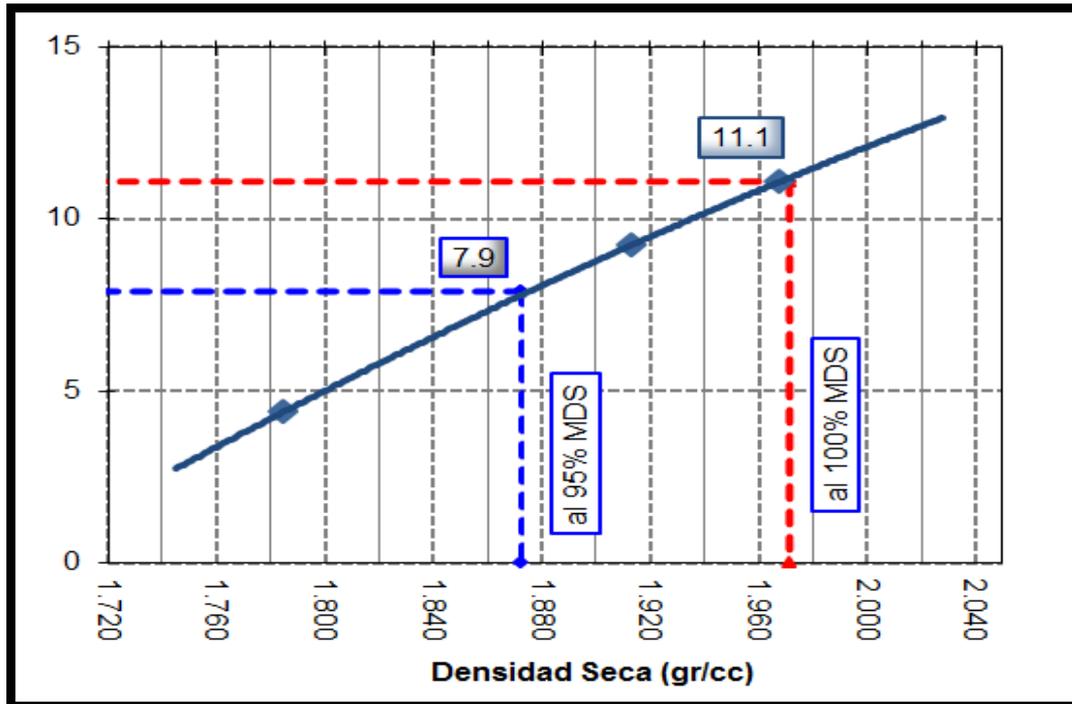
Fuente: *Ensayo de Laboratorio – Lemicons*

Este ensayo nos da como valor la densidad máxima seca y humedad óptima siendo sus valores los siguientes.

Densidad máxima seca = 1.971 gr/cc

Humedad óptima = 13.2 %

FIGURA 16 CALIFORNIA BEARING RATIO

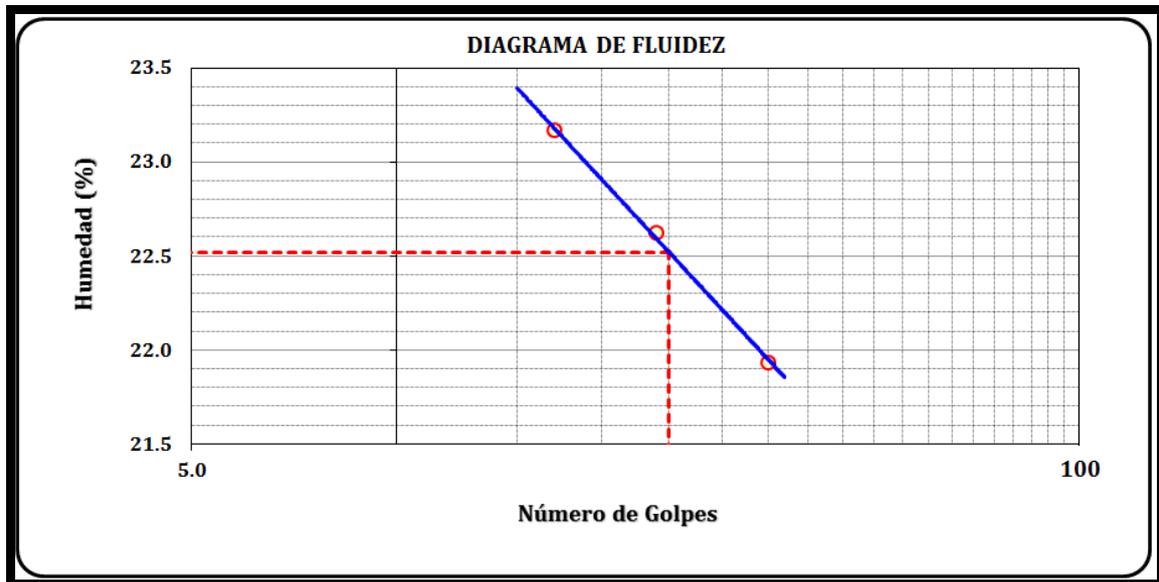


Fuente: *Ensayo de Laboratorio – Lemicons*

Observamos que el suelo con dosificación del 5% de concreto reciclado obtiene una capacidad de soporte al 95% de 7.9% donde presenta una mejora de sus propiedades mecánicas.



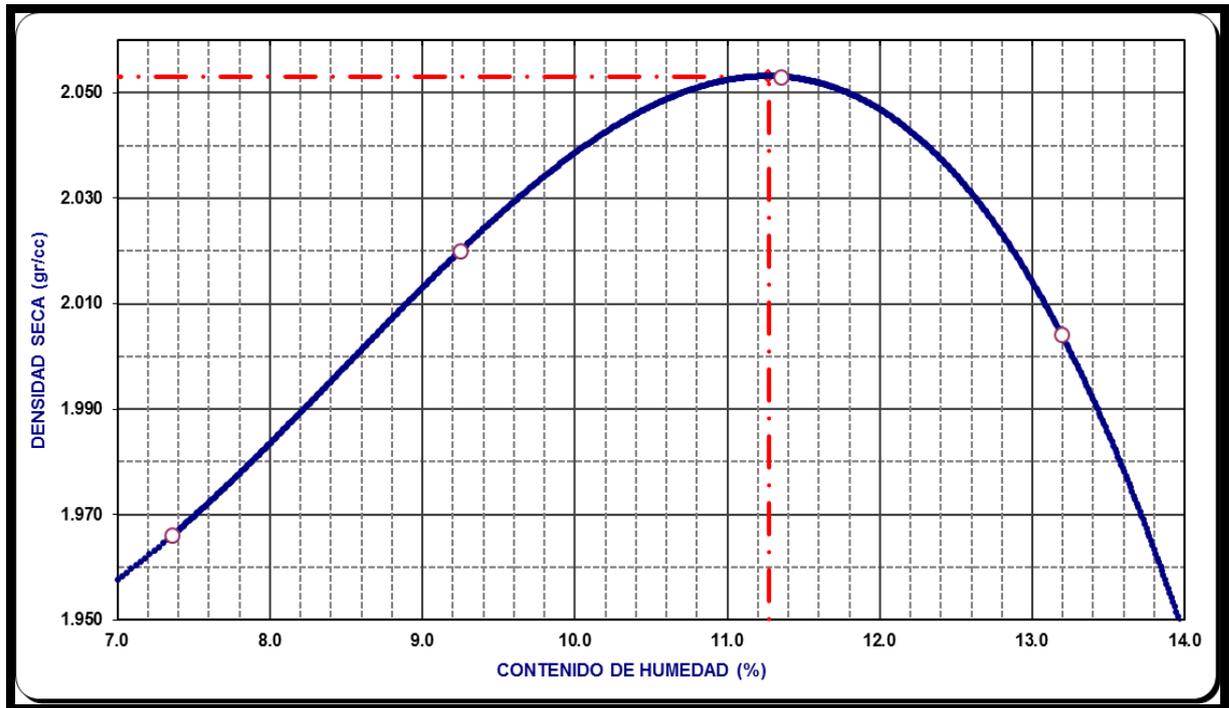
FIGURA 19 LÍMITES DE CONSISTENCIA – LIQUIDO Y PLÁSTICO



Fuente: *Ensayo de Laboratorio – Lemicons*

El suelo según los ensayos está dando un límite líquido (LL) de 23. Límite plástico (LP) de 16. Obteniendo un índice de plasticidad de 6.

FIGURA 20 PROCTOR MODIFICADO



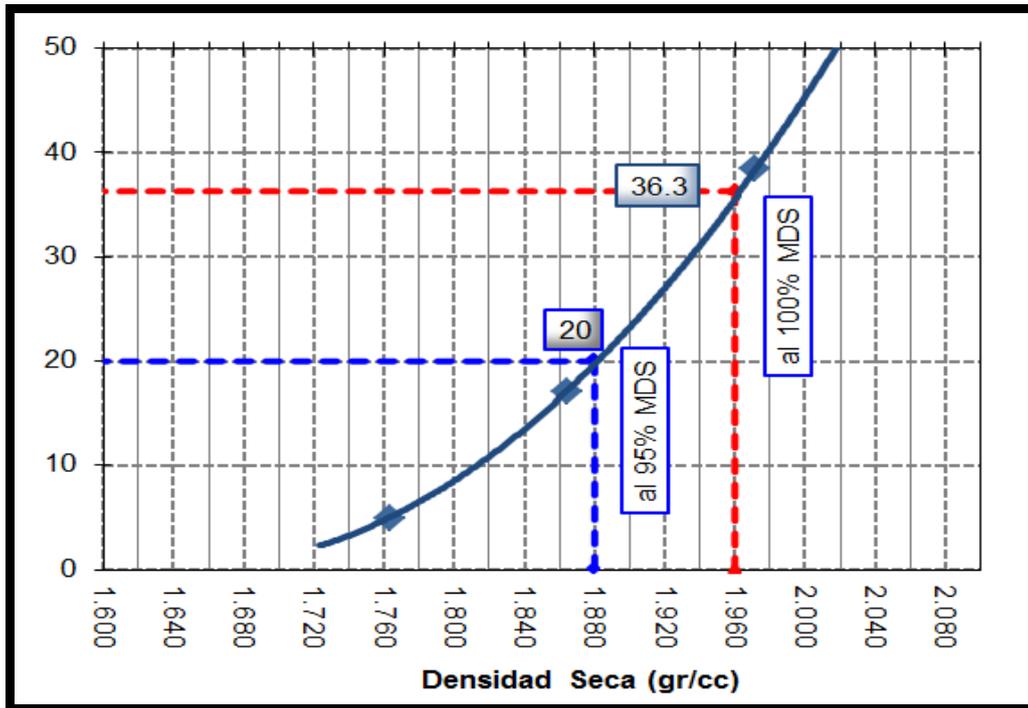
Fuente: *Ensayo de Laboratorio – Lemicons*

Este ensayo nos da como valor la densidad máxima seca y humedad optima siendo sus valores los siguientes.

Densidad máxima seca = 2.053 gr/cc

Humedad optima = 11.3 %

FIGURA 21 CALIFORNIA BEARING RATIO



Fuente: *Ensayo de Laboratorio – Lemicons*

Observamos que el suelo con dosificación del 15% de concreto reciclado obtiene una capacidad de soporte al 95% de 20% donde presenta una mejora de sus propiedades mecánicas.



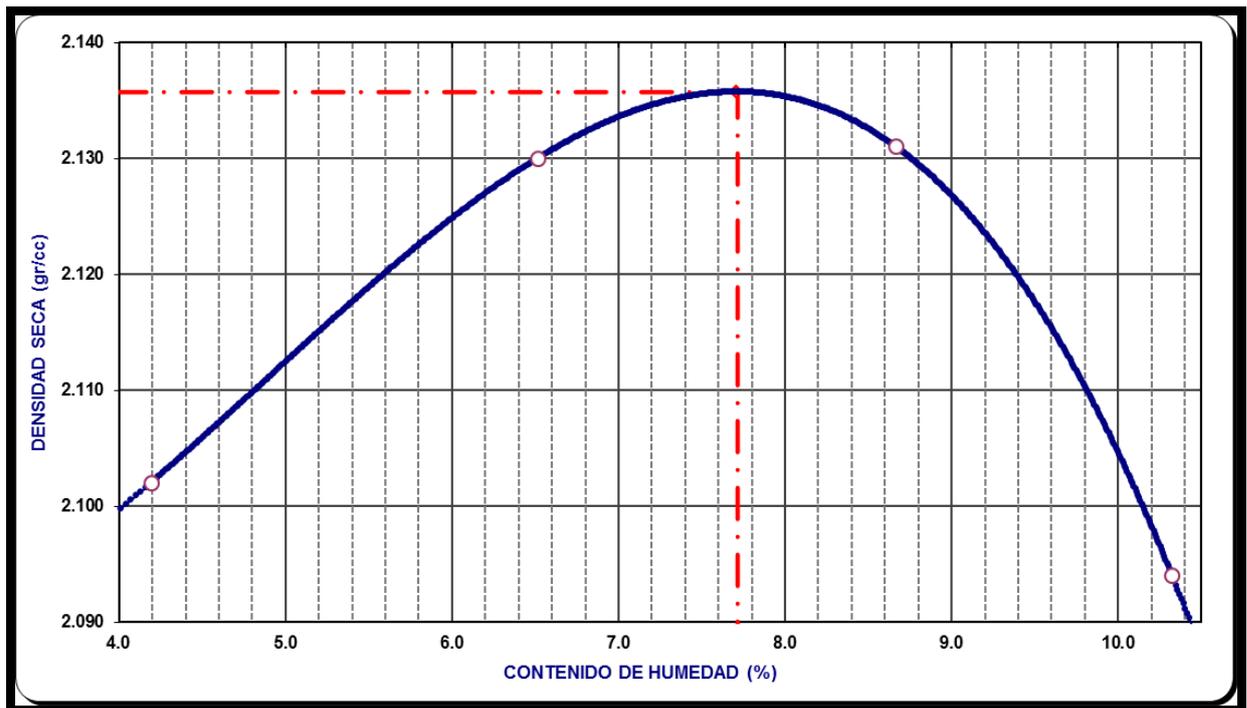
FIGURA 24 LÍMITES DE CONSISTENCIA – LÍQUIDO Y PLÁSTICO

LÍMITES DE ATTERBERG		
LÍMITE LÍQUIDO (LL)	:	N.L.
LÍMITE PLÁSTICO (LP)	:	N.P.
ÍNDICE PLÁSTICO (IP)	:	N.P.
PRUEBA DE LÍMITE LÍQUIDO		
MÉTODO MULTIPUNTO	:	---
MÉTODO UN PUNTO	:	---

Fuente: *Ensayo de Laboratorio – Lemicons*

No presenta límites

FIGURA 25 PROCTOR MODIFICADO



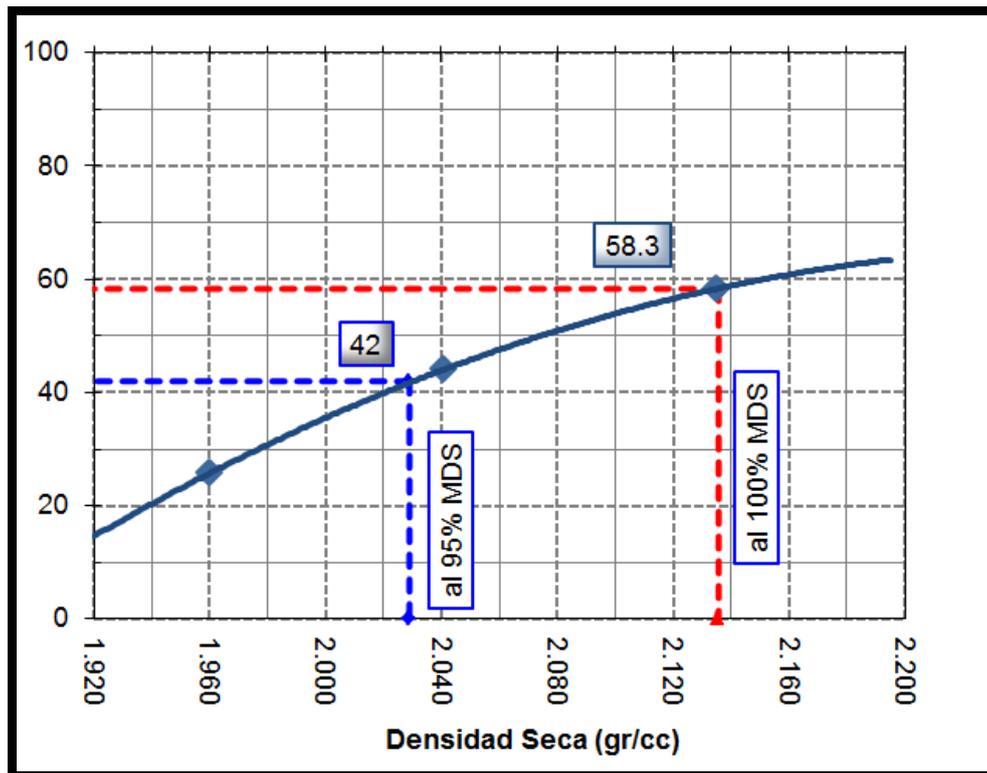
Fuente: *Ensayo de Laboratorio – Lemicons*

Este ensayo nos da como valor la densidad máxima seca y humedad óptima siendo sus valores los siguientes.

Densidad máxima seca = 2.136 gr/cc

Humedad óptima = 7.7 %

FIGURA 26 CALIFORNIA BEARING RATIO



Fuente: *Ensayo de Laboratorio – Lemicons*

Observamos que el suelo con dosificación del 25% de concreto reciclado obtiene una capacidad de soporte al 95% de 42% donde presenta una mejora de sus propiedades mecánicas.



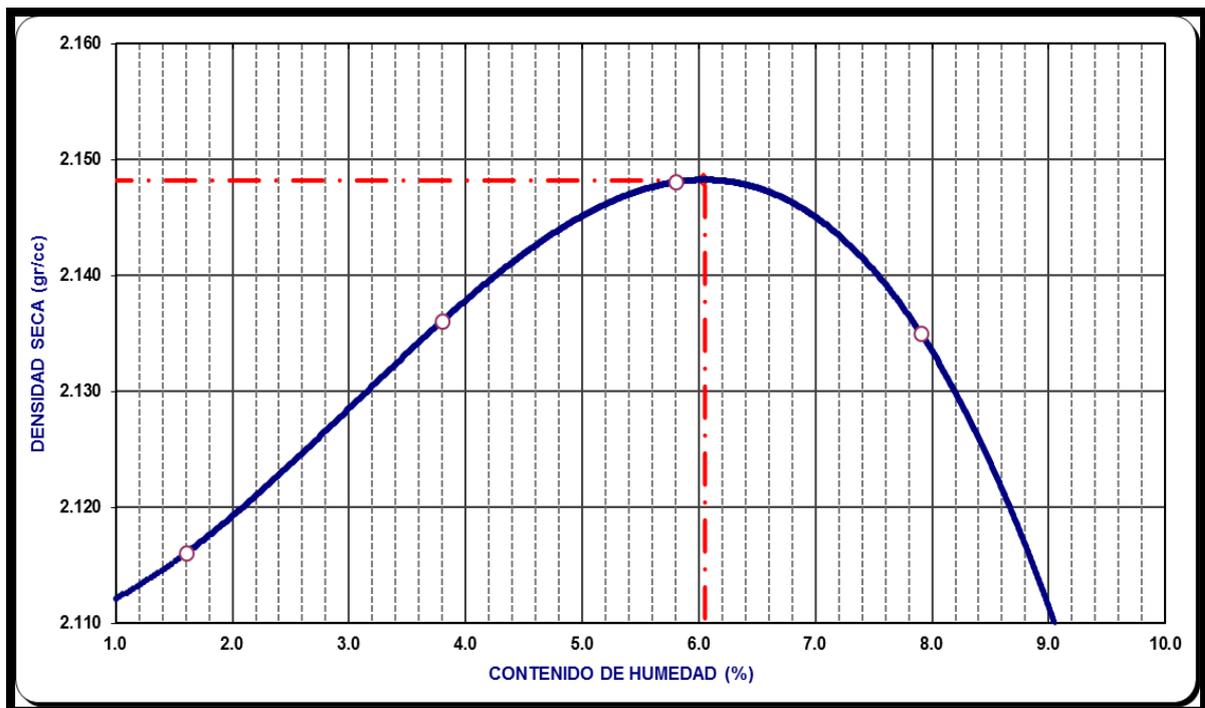
FIGURA 29 LÍMITES DE CONSISTENCIA – LIQUIDO PLÁSTICO

LÍMITES DE ATTERBERG		
LÍMITE LIQUIDO (LL)	:	N.L.
LÍMITE PLÁSTICO (LP)	:	N.P.
ÍNDICE PLÁSTICO (IP)	:	N.P.
PRUEBA DE LÍMITE LIQUIDO		
MÉTODO MULTIPUNTO	:	---
MÉTODO UN PUNTO	:	---

Fuente: *Ensayo de Laboratorio – Lemicons*

No presenta límites

FIGURA 30 PROCTOR MODIFICADO



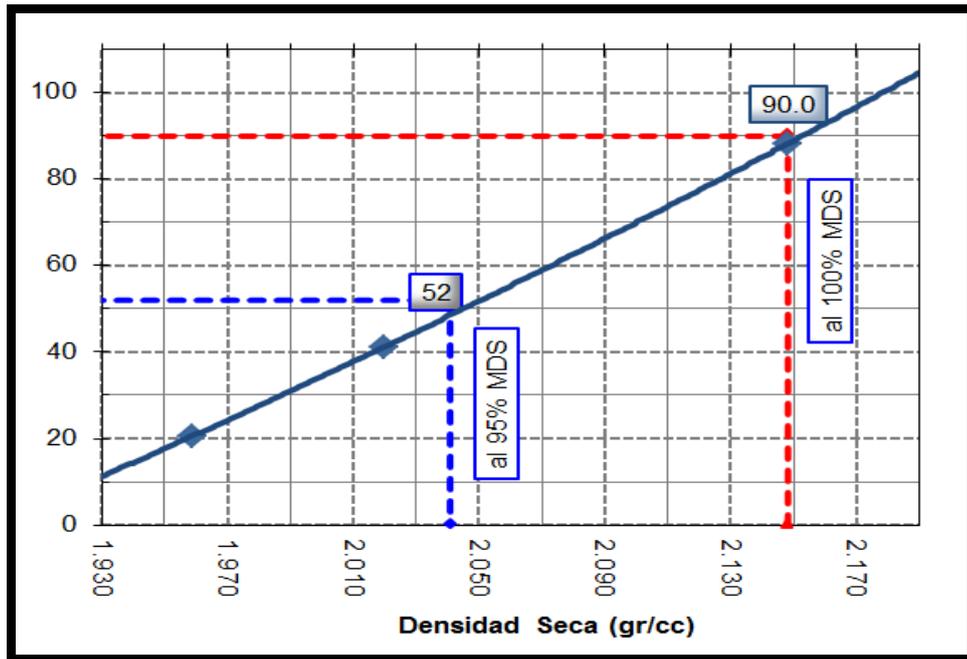
Fuente: *Ensayo de Laboratorio – Lemicons*

Este ensayo nos da como valor la densidad máxima seca y humedad optima siendo sus valores los siguientes.

Densidad máxima seca = 2.148 gr/cc

Humedad optima = 6.1 %

FIGURA 31 CALIFORNIA BEARING RATIO



Fuente: *Ensayo de Laboratorio – Lemicons*

Observamos que el suelo con dosificación del 35% de concreto reciclado obtiene una capacidad de soporte al 95% de 52% donde presenta una mejora de sus propiedades mecánicas.

### 3.1.6. Interpretación de Resultados

La interpretación de ensayos consiste en determinar como el material natural y las dosificaciones correspondientes se van comportando mecánicamente para mejorar la capacidad de soporte de la subrasante conformada por material fino cuyo CBR son bajos. La interpretación se realizará por cada espécimen para luego dar resultados globales y mostrar mediante graficas los resultados obtenidos por cada ensayo tanto del material natural como las dosificaciones del concreto reciclado al 5%, 15%, 25% y 35%.

### 3.1.7. Interpretación de Ensayos – Cuadros Comparativos

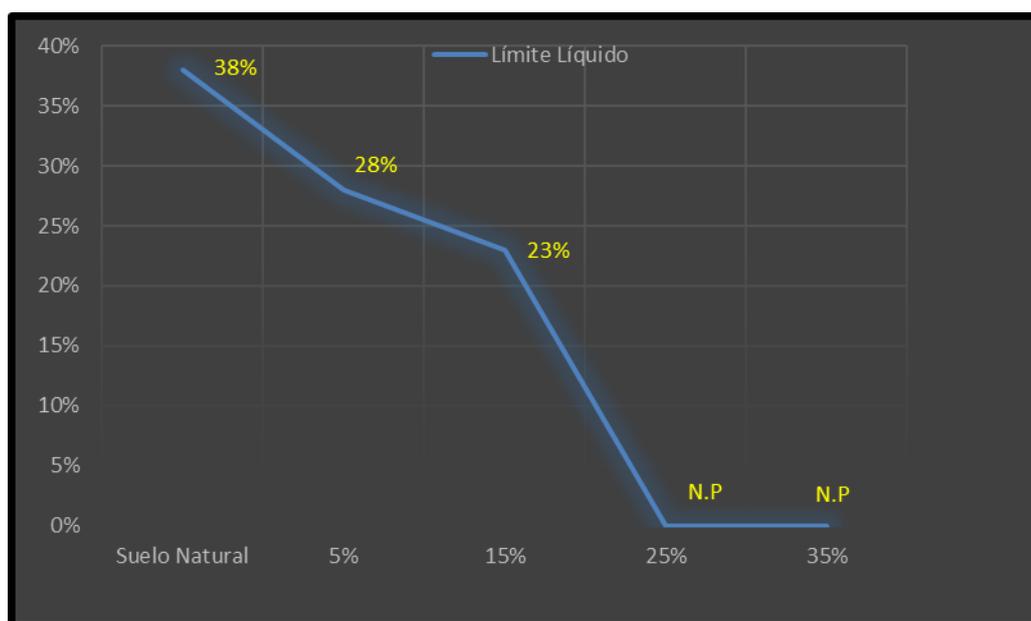
TABLA 5 CUADRO COMPARATIVO DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS

Dosificaciones	Prof. (m)	MUESTRA	% Grava	% Arena	% Finos	SUCS	AASHTO
Natural	0.00-1.50	M1	--	9.1	90.9	CL	A-6 ( 11 )
Concreto reciclado 5 %	0.00-1.50	M1	0.2	30.5	69.4	CL-ML	A-6 ( 7 )
Concreto reciclado 15 %	0.00-1.50	M1	1.8	47.8	54.4	CL-ML	A-4 ( 3 )
Concreto reciclado 25 %	0.00-1.50	M1	4.9	78.1	16.9	SM	A-1-b (0)
Concreto reciclado 35 %	0.00-1.50	M1	15.0	47.2	37.9	SM	A-1-b (0)

Fuente: *Elaboración Propia*

En el presente cuadro se evidencia que con la adición de concreto reciclado el material natural (CL-arcilla de baja plasticidad), mejora su comportamiento con las dosificaciones de 5%,15%,25%35% cuyo análisis granulométrico da como resultado arena limosa SM, el cual hace que el material natural brinde mejor características mecánicas.

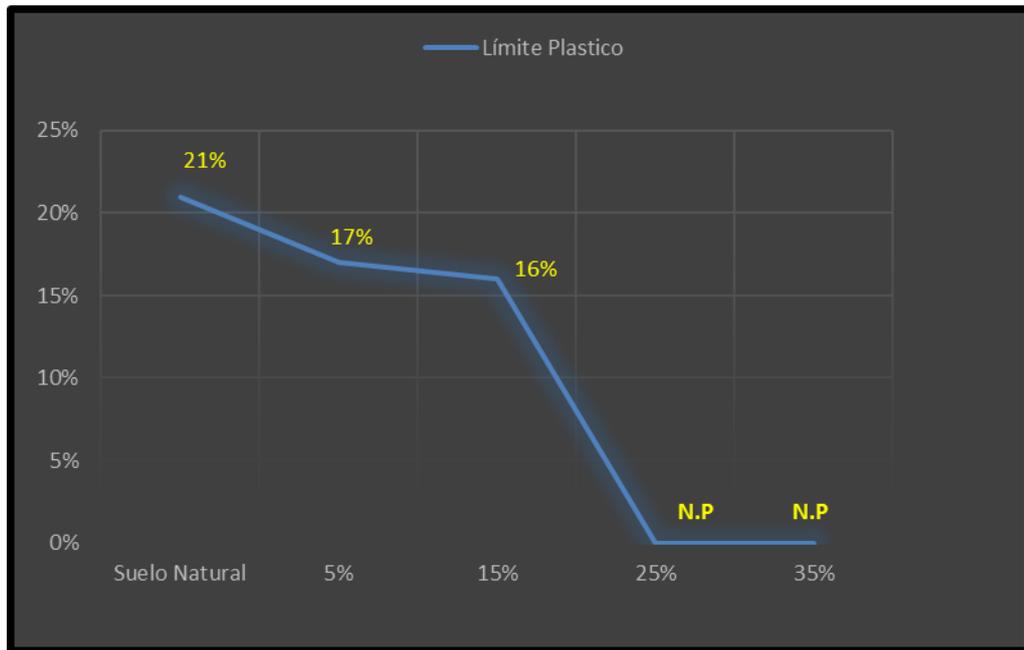
**TABLA 6 COMPARACIÓN DE LOS RESULTADOS DEL LÍMITE LÍQUIDO**



Fuente: *Elaboración Propia*

En el presente gráfico se muestra que inicialmente el límite líquido del terreno natural es de 38%, con la adición del concreto reciclado se evidencia que la curva con las dosificaciones de 25% y 35% el suelo no presenta (N.P), límite líquido. Logrando que el material mejore.

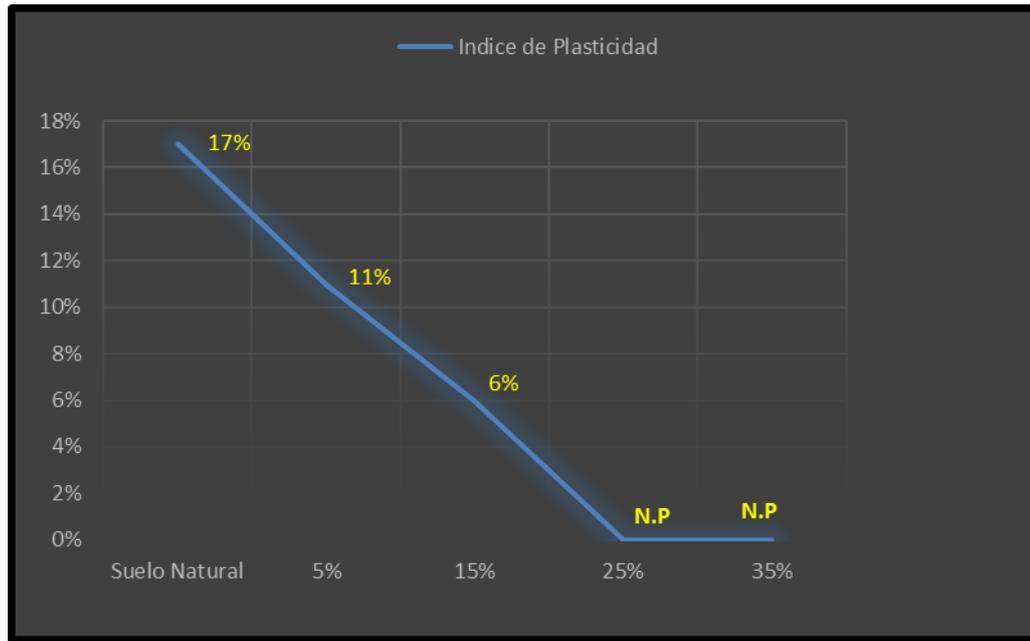
**TABLA 7 COMPARACIÓN DE LOS RESULTADOS DEL LÍMITE PLÁSTICO**



Fuente: *Elaboración Propia*

En el presente gráfico se muestra que inicialmente el límite plástico del terreno natural es de 21%, con la adición del concreto reciclado se evidencia que la curva con las dosificaciones de 25% y 35% el suelo no presenta (N.P), límite plástico. Logrando que el material mejore.

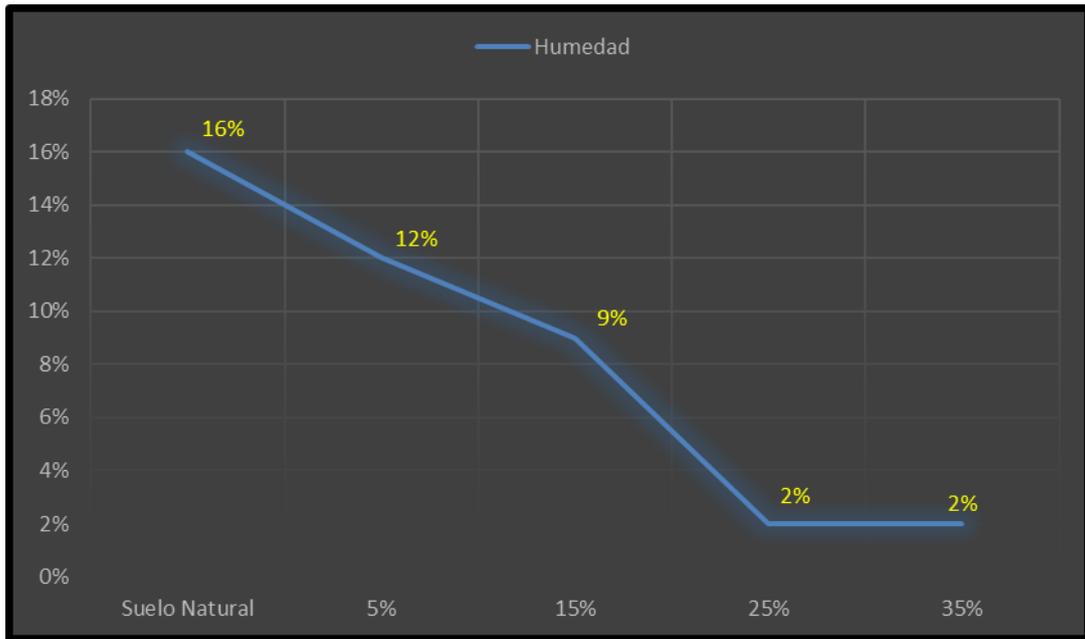
**TABLA 8 COMPARACIÓN DE LOS RESULTADOS DEL ÍNDICE DE PLASTICIDAD**



Fuente: *Elaboración Propia*

En el presente grafico se muestra que inicialmente el índice de plasticidad del terreno natural es de 17%, con la adición del concreto reciclado se evidencia que la curva con las dosificaciones de 25% y 35% el suelo no presenta (N.P), Índice de plasticidad. Logrando que el material mejore.

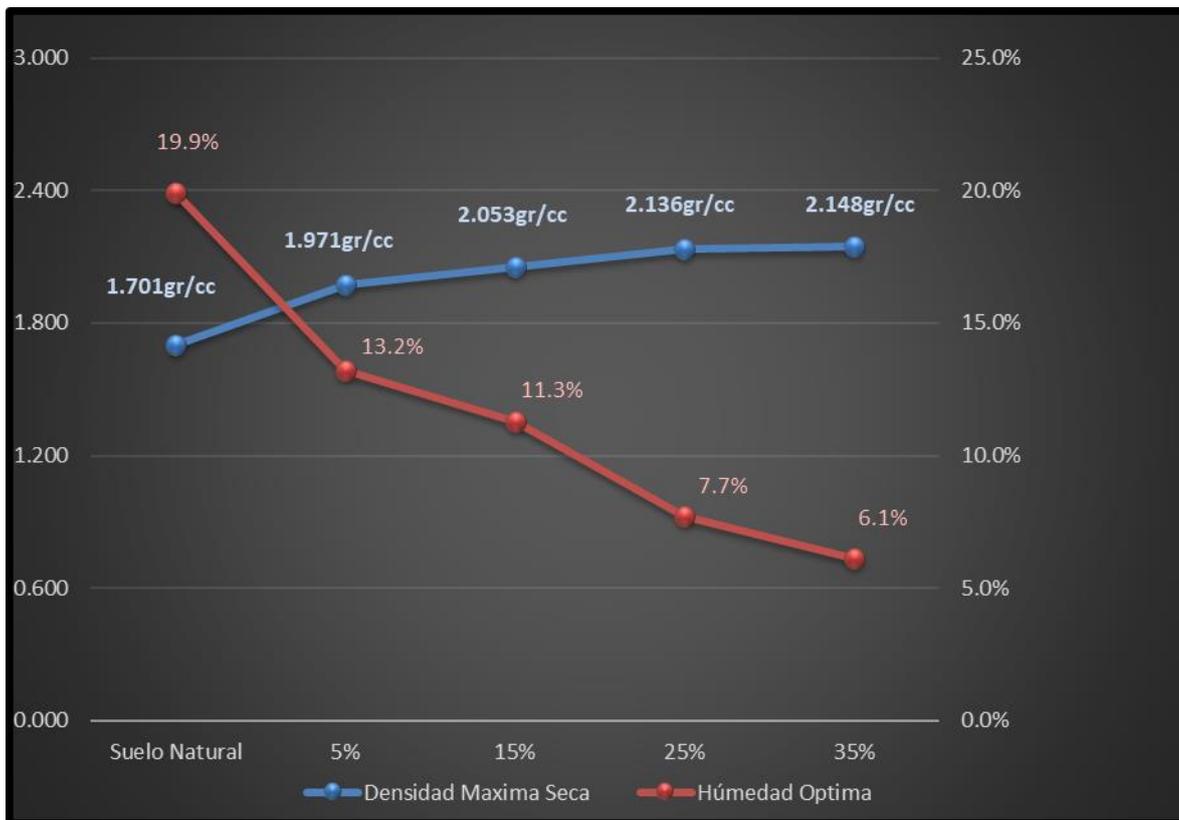
**TABLA 9 COMPARACIÓN DE LOS RESULTADOS DE HUMEDAD**



Fuente: *Elaboración Propia*

En el presente grafico se muestra que inicialmente la humedad del terreno natural es de 16%, con la adición del concreto reciclado se evidencia en la curva que las dosificaciones de 25% y 35% el suelo logra obtener una humedad de 2%, manteniéndose constante en estas dos últimas, el cual representa que se minimiza el cambio de volumen que tienen las arcillas al contacto con el agua.

**TABLA 10 COMPARACIÓN DE LOS RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE PROCTOR MODIFICADO**



Fuente: *Elaboración Propia*

En el presente grafico se muestra los ensayos de Proctor modificado, el cual indica que los resultados de la densidad máxima seca y humedad optima mejoran gradualmente con las dosificaciones, es decir la densidad va aumentado y el contenido de humedad va bajando logrando un óptimo al 35% de concreto reciclado, el cual se evidencia mejoramiento mecánico en sus propiedades intrínsecas y aumento en la capacidad de carga que pueda ser sometido el suelo.

TABLA 11 COMPARACIÓN DE LOS RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE CBR



Fuente: *Elaboración Propia*

En el presente cuadro se puede visualizar los resultados de los CBRs al 95% y 100% de su máxima densidad, el cual se puede observar en la graficas que a partir de las dosificaciones de 25% y 35% el valor del CBR ya aplica como material para poder ser usado en una subbase y base. Por otro lado, la expansión a partir del 15% de concreto reciclado va disminuyendo llegando a cero, el cual muestra un mejoramiento en sus propiedades mecánicas.

Los suelos arcillosos son caracterizados por tener CBR menores al 6%. El cual debe de realizarse un mejoramiento de suelos, para contrarrestar los efectos que por su condición puedan originar. (Ravines Merino, 2010)

**TABLA 12 CATEGORÍAS DE SUBRASANTE**

Categorías de Subrasante	CBR ( % )
Subrasante Inadecuada	0 - 3
Subrasante Pobre	3 - 6
Subrasante Regular	6 - 10
Subrasante Buena	10 - 20
Subrasante Muy Buena	20 - 30
Subrasante Excelente	Mayor a 30

Fuente: *Manual de Carreteras Suelos, Geotécnica y Pavimentos (2018)*

## **CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES**

### **4.1. Limitaciones**

- ✓ Una de las limitaciones en esta investigación fue el tipo de suelo a investigar, ya que en la ciudad de Lima es muy difícil encontrar suelos finos, sin embargo, se investigó que en la zona de Carabayllo, está conformado por suelos arcillosos con CBRs por debajo de los límites permisibles.

### **4.2. Interpretación Comparativa**

- ✓ A partir de los resultados de los ensayos de laboratorio encontrados, aceptamos que el mejoramiento de la subrasante mediante la dosificación al 25% de concreto reciclado mejora la capacidad de soporte del suelo arcilloso (CL), ya que en los ensayos que se realizaron se demuestra que van mejorando sus propiedades físicas logrando obtener una subrasante excelente según el manual de carreteras, de acuerdo a las dosificaciones establecidas.

#### **Ver tabla 11**

Estos resultados guardan relación con lo que sostiene **(Del Rio Huamán, 2017)**, ya que señala que la estabilización de suelos arcillosos con concreto

reciclado es variada llegando a las conclusiones de que la dosificación al 15% de concreto reciclado existe un comportamiento lineal.

Según resultados obtenidos por (**Del Rio Huamán, 2017**) el enfoque que le da como mejoramiento de estabilización es diferente a los resultados que presenta este trabajo de investigación, ya que el suelo a mejorar es una arcilla de baja plasticidad (CL) y no una arena con arcilla (SC), conllevando a que los ensayos sean realizados desde otro enfoque.

Con respecto al porcentaje de concreto reciclado para mejorar la capacidad de soporte (CBR), si coincidimos, ya que se demuestran aumentos de las propiedades físicas de los suelos, mejorando los CBR.

- ✓ Con respecto al ensayo que se realizó al suelo natural se evidencio que el porcentaje de humedad es de 16%, con la adición de concreto reciclado al 25% y 35% se evidencio que la humedad baja teniendo un comportamiento lineal a partir de estas dosificaciones la capacidad de absorción del concreto reciclado baja de humedad del suelo natural. **Ver tabla 9**

Los resultados obtenidos por (**Cuestas Manzo y Morales Bustos, 2017**), realizo dosificaciones de 5%, 10%, 15% y 20% y en nuestro trabajo de investigación las dosificaciones fueron de 5%, 15%, 25%, 35%, el cual se demuestra que las dosificaciones son distintas. Pero el porcentaje de humedad en ambos resultados se demuestra que bajan debido a las propiedades que tiene el concreto reciclado, que es su capacidad de absorción de líquidos del suelo a mejorar.

- ✓ El tipo de suelo a mejorar para (**Leiva Gonzales, 2017**), a nivel de subrasante en una arcilla de baja plasticidad (CL), la misma tipología de suelo que

presenta esta tesis, el cual evidencia que los límites de consistencia están dentro de los rangos que caracterizan a estos tipos de suelos

- ✓ Estos ensayos de laboratorio guardan relación con lo que demuestra. (**Leiva Gonzales, 2017**), ya que los límites de consistencia están dentro de los rangos. Por el cual estos resultados son coherentes con lo que este trabajo de investigación está demostrando.

#### **4.3. Implicancias**

- ✓ Con los resultados obtenidos en la presente investigación se puede evidenciar que, si existe otra solución de mejoramiento de suelos de baja capacidad de soporte en sub rasante, con el cual es beneficioso ya que se tiene una alternativa más de solución ante las distintas tipologías de suelos finos (limos y arcillas).
- ✓ En el desarrollo de esta investigación también se demostró que este mejoramiento no solo aplica para una sub rasante, sino que también se logró obtener un material con un buen comportamiento mecánico. Es por ello que este aporte puede ser usado también para mejorar las sub base y base, de los pavimentos del Perú.
- ✓ Otro impacto que generaría a la ingeniería, es inducir tanto al rubro de la Construcción y Geotécnica a buscar implementar normas que avalen la reutilización de materiales reciclados como las demoliciones que existen en nuestro país y reutilizarla en el desarrollo de la ingeniería y del Perú.
- ✓ Con el uso de concreto reciclado se estaría logrando despertar un gran interés en la utilización de este material en grandes proyectos que a la vez se estaría evitando la explotación y alteración del medio ambiente. Es por ello que la ingeniería está en la obligación de optar primero por soluciones que

contribuyan a nuestro medio ambiente sin generar ni un tipo de impacto. Por lo tanto, esta investigación está demostrando que si existe soluciones con uso de tecnología limpias que van de la mano con los recursos naturales logrando obtener un equilibrio entre el desarrollo de la ingeniería civil y el medio ambiente.

#### **4.4. Conclusiones**

A medida que aumentaba el porcentaje de adición de concreto reciclado en las dosificaciones de 5%, 15%, 25%, 35%, producen variaciones en las constantes físicas de la muestra en el porcentaje de finos con respecto a las dosificaciones dando como resultados 90.9, 69.4, 50.4, 16.9, 37.9 respectivamente, por el cual el material llegó a la condición de ser plástico a no plástico. clasificando como CL (arcilla de Baja Plasticidad) a SM (arena limosa).

La adición de concreto reciclado al suelo arcilloso, influyó en las propiedades físicas y mecánicas, ya que obtuvimos una densidad Máxima de 1.701 g/cc (terreno natural) el cual aumento en 26% con la dosificación de 35% obteniendo como resultado 2.148 g/cc, Por el cual se evidencia que mientras aumenta la densidad máxima, el porcentaje de vacíos, oquedades o intersticios, disminuye mejorando sus propiedades intrínsecas del suelo y capacidad de soporte.

Con los resultados obtenidos se puede llegar a la conclusión de que este material mejorado podría utilizarse como una subbase o base para pavimentos, ya que el CBR mínimo para una sub base según el manual de carreteras es de 40% y para una base es de 80%, por lo tanto este suelo mejorado cumple con lo que indica la norma a partir de la dosificación de 25% y 35% de concreto reciclado, obteniendo una capacidad de soporte (CBR) de 58.3% y 90%. mejorando las

propiedades físicas de dicho suelo, por el cual esta dosificación brinda los mejores resultados en cuanto a la capacidad de soporte del suelo.

## REFERENCIAS

- Ávila Esquivel, T. (2010). *Evaluación de las Propiedades de la cal Como Material Estabilizante de Suelos Plásticos para Carreteras y su Efecto en las Características del Material a Estabilizar.*
- Barek Orti, L. A. (2015). *Mejorar la Capacidad Portante de los Suelos Usando Sábila, Para la Construcción de Caminos Rurales.*
- Barrera Bucio, M. (2002). *Introducción a la Mecánica de Suelos no Saturados en Vías Terrestres.* Sanfandila.
- Bauzá Castelló, J. D. (2015). *El Tratamiento de los Suelos Arcillosos con Cal. Comportamiento Mecánico y Evolución a Largo Plazo ante Cambios de Humedad.*
- Blacio Reyes , J. A. (2018). *Diseño de Rellenos Fluidos con el Uso de los Materiales Reciclados Obtenidos de los Escombros Producidos por el Terremoto en la Provincia de Manabí, como Reemplazo de las Bases Granulares de la Estructura de las Vías.*
- Cabana Valverde, M. A. (2017). *Mejoramiento de la Relación de Soporte (CBR) al Adicionar el Estabilizante Químico CAL a la Sub – Rasante de la Carretera no Pavimentada de Bajo Tránsito Paria.*
- Calle Llactahuamaní, S. E., & Arce Huahuachampi, M. G. (2018). *Estabilización con Polímero Acrílico de la Subrasante de la Zona del Puente de Añashuayco para su uso como Base y Comparación Frente a un Pavimento Convencional.*
- Camacho Salazar, P. (2016). *Evaluación del Reciclado de Pavimentos Asfálticos (RAP) para uso en Pavimentos Expuestos.*
- Castillo Parra, B. F. (2017). *Estabilización de Suelos Arcillosos de Macas con Valores de CBR menores al 5% y Límites Líquidos superiores al 100%, para Utilizarlos como Subrasantes en Carreteras.*
- Contreras Quezada, K. B., & Herrera Lázaro, V. A. (2015). *Mejoramiento del Agregado Obtenido de Escombros de la Construcción para Bases y Subbases de Estructuras de Pavimento en Nuevo Chimbote.*
- Cruz García, J. A., & Velázquez Yañez, R. (2004). *Concreto Reciclado.*
- Cuestas Manzo , J. A., & Morales Bustos, K. A. (2017). *Ubicación del Suelo Ubicado en la Carrera 68 con Calle 80 con Escombros de Concreto Simple Triturado.*
- De la Cruz Gutierrez, L. M., & Salcedo Rojas, K. K. (2016). *Estabilización de Suelos Cohesivos por Medio de Aditivos (Eco Road 2000) Para Pavimentación en Palian.*
- Del Rio Huamán, Y. A. (2017). *Optimización de la Estabilización de Suelos Arcillosos en el Sector Curva del Sum - Campiña de Moche, con Concreto Reciclado Para Pavimentación.*

- Díaz Vásquez, F. (2018). *Mejoramiento de la Subrasante mediante Ceniza de Cascara de Arroz en la Carretera Dv San Martin.*
- Gil Carbonell, E. R., & Nuñez Quintana, I. K. (2018). *Influencia de la Adición de Fibras de PET Reciclado sobre la Resistencia, Cohesión y Ángulo de Fricción Interna de Suelos Arcillosos Aplicado a la Estabilidad de Taludes.*
- Gómez Meijide, B. (2015). *Aplicación Sostenible de Residuos de Construcción y Demolición como Árido Reciclado de Mezclas Bituminosas en Frío.*
- Jara Anyaypoma, R. (2014). *Efecto de Cal como Estabilizante de una Subrasante de Suelo Arcilloso.*
- Junco del Pino, J. M., & Tejada Piusseaut, E. (2013). *Consideraciones acerca de la Actividad de las Arcillas en la Estabilización de Suelos.* Revista Arquitectura e Ingeniería, España.
- Leiva Gonzales, R. R. (2016). *Utilización de Bolsas de Polietileno para el Mjoramiento de Suelo a Nivel de la Subrasante en el Jr. Arequipa.*
- Lescano Cabrera, S. D., & Nárvaez Sánchez, L. A. (2010). *Mejoramiento de la Capacidad Portante del CBR de una Subbase Granular con Material Proveniente de la Provincia de Esmeraldas por medio de la Adición de Desechos de PVC.*
- Mamani Barriga, L. E., & Yataco Quispe, A. J. (2017). *Estabilización de Suelos Arcillosos Aplicando Ceniza de Madera de Fondo, Producto de Ladrilleras Artesanales en el Departamento de Ayacucho.*
- Monje Lombo, C. A., & Rodriguez Villareal, D. J. (2016). *Carbonatación Acelerada en Agregados Reciclados de Concreto y Evaluación de su Desempeño en Mezclas de Concreto para Vías.*
- Morales Mayén , C. J. (2014). *Ensayo para uso de Concreto Reciclado para Carpetas Asfálticas, Concreto y Block Pómez para Bases y Subbases.*
- Moscoso Sarmiento, E. F. (2019). *Estudio de la Capacidad Portante Mediante el CBR, de Suelo de la Mina de Chocarsi Estabilizada con Cemento tipo MH.*
- Norma Técnica Peruana NTP 339.128 . (1999 (revisada el 2014)). *Método de Ensayo para el Análisis Granulométrico.*
- Norma Técnica Peruana NTP 339.145. (1999). *Métodos de Ensayo de CBR (Relación de Soporte de California) de Suelos Compactados en el Laboratorio.*
- Norma Técnica Peruana NTP 339.129. (199). *Método de Ensayo para Determinar el Límite Líquido, Límite Plástico, e Índice de Plasticidad de Suelos.*
- Norma Técnica Peruana NTP 339.141. (1999). *Métodos de Ensayo para la Compactación del Suelo en Laboratorio Utilizando una Energía Modificada ( 2.700kN-m/m<sup>3</sup> (56.000 pie-lbf/pie<sup>3</sup>)).*
- Norma Técnica Peruana NTP 339.160. (2001). *Método de Prueba Normalizado para la Determinación del Contenido de Agua (humedad) del Suelo por el Método del Horno Microondas.*
- Palomino Terán , K. E. (2016). *Capacidad Portante (CBR) de un Suelo Arcilloso, con las Incorporación del Estabilizador MAXXSEAL 100.*
- Quintero Esquivel , J. M. (2017). *Suelo - Cemento con Sustitución en Franja Granulométrica con Concreto Reciclado.*

- Rabanal Pajares, J. E. (2014). *Análisis del estado de conservación del pavimento flexible de la Vía de Evitamiento norte, utilizando el método del índice de condición del pavimento.*
- Ramos Pereira, M. L. (2019). *Mejoramiento de la Capacidad de Soporte del Suelo a Nivel de Subrasantea través de la Utilización del Sistema Rocamix.*
- Ravines Aliaga, J. A. (2017). *Capacidad Portante de los Suelos de Fundación, Mediante los Métodos DPL y Corte Directo Para la Ciudad de José Gálvez.*
- Romero Romero, R. M., & Sañac Vilca, C. (2016). *Evaluación Comparativa Mediante la Capacidad de Soporte y Densidad Máxima de un Suelo Adicionado con Polímero Adhesivo Natural en Porcentajes de 0.5%, 1%, 2%, y 3% Frente a un Suelo Natural para Subrasante de Pavimento Rígido de la Urb. San Judas Chico.*
- Ruano López, D. R. (2012). *Estabilización de Suelos Cohesivos por Medio de Arenas Volcánicas y Cal Viva.*
- Terzaghi, K. v. (1943). *Theoretical Soil Mechanic.* John Wiley and Sons.
- Velasquez Pacco, L. M. (2015). *Propiedades Físico Mecánicas del Concreto Reciclado para Lima Metropolitana.*
- Zambrano Zambrano, W. E. (2016). *Diseño Estructural de Pavimentos.* Printed and mad.

## **ANEXOS**

Incluir toda la información complementaria como fotos, planos, tablas adicionales, código fuente, data, etc.

Cada uno de los instrumentos, evidencias u otros insertados en los anexos, va en hoja independiente. No pueden ir dos anexos en una misma hoja. Cada hoja que contenga un anexo debe ser numerada: ANEXO n.º 1. Título del anexo.

## **ANEXOS**

### **ANEXO N° 1**

Instrumentos de recolección de datos

### **ANEXO N° 2**

Resultados de ensayos de laboratorios

### **ANEXO N° 3**

Panel fotográfico

# **ANEXO 1**

---

## **Instrumentos y Recolección de Datos**

## Instrumentos de recolección de datos

FIGURA 32 REGISTRO PARA EL MUESTREO DE EXPLORACIONES EN CAMPO

CARACTERÍSTICAS GENERALES					ESTRATO 1	ESTRATO 2	ESTRATO 3	ESTRATO 4
FECHA DE EXCAVACION: ____/____/____								
NIVEL FREATICO ENCONTRADO: _____ PROFUNDIDAD: _____								
INDICIO DE NIVEL FREATICO: _____ NUMERO DE MUESTRA: _____								
CLASIFICACION VISUAL: _____								
CONTAMINADO (SI/NO) Y (%): _____								
MATERIAL DE RELLENO: (Alta/Medio/Aislado) (Bolsas, Ladrillos, Concreto; Basura) <input type="checkbox"/>								
PRESENCIA DE RAICES: Alta/Medio/Aislado								
COLOR DE SUELO (Cartilla de Colores)								
CARACTERÍSTICAS DE RESISTENCIA								
RESISTENCIA: Consistencia (Fina) y Compacidad (Gruesa)	ARCILLAS/LIMOS	SPT/D.R.	ARENAS/GRAVAS	SPT/D.R.				
	1 Muy blanda	0 a 1	Muy Suelto	0-4				
	2 Blanda	2 a 4	Suelto	5a10				
	3 Media	5 a 8	Mediamente Densa/ Mediamente Compacto	11a24				
	4 Rígida/Firme	9 a 15	Densa/Compacto	25a50				
	5 Muy Rígida/Muy Firme	16 a 30	Muy Densa/Muy Compacto	> 50				
6 Duro	31 a 60							
CARACTERÍSTICAS DE CONSISTENCIA, HUMEDAD Y PLASTICIDAD								
INDICE DE PLASTICIDAD	NP	No plastica: Un hilo de 3mm. No puede ser enrollado.						
	LP	Ligeramente Plástica: El hilo puede ser enrollado difícilmente						
	MP	Mediamente Plastica: El hilo es facil de enrollar pero no puede ser enrollado por segunda vez.						
	AP	Altamente plastica: Toma tiempo enrollar el hilo pero se puede enrollar varias veces.						
HUMEDAD (Suelos Finos)	SAT	Saturado						
	H	Húmedo						
	MH	Mediamente húmedo						
	LH	Ligeramente húmedo						
Resistencia - Consistencia en estado seco (Suelos Finos)	S	Seco						
	N	Nula: La muestra seca se desmorona con sólo la presión o la manipulación.						
	B	Baja: La muestra seca se desmorona con poca presión.						
	M	Media: la muestra seca se rompe en pedazos o se desmorona con la presión considerable con el dedo.						
FORMA DE AGREGADO GRUESO (Angularidad)	A	Alta: La muestra seca no puede ramparse con la presión del dedo. Solo se romperá en pedazos entre el dedo pulgar y una superficie dura.						
	MA	Muy Alta: La muestra seca no puede ramparse entre el pulgar y una superficie dura.						
CARACTERÍSTICAS DE FORMA, TAMAÑO Y CANTIDAD								
TAMAÑO MAXIMO EN PULGADAS (Suelo de grano Grueso):	Bloques ( >=20" & < >=50cm.)							
	Bolonas ( >=12" y < 20" & < >=30cm. y < 50cm.)							
	Cantos ( >=3" y <12" & < >=7.5cm y < 30)							
	Gravos (<3" & < <7.5cm)				A	B	A	B
	Arenas (<=1/2cm)							
FORMA DE AGREGADO GRUESO (Angularidad)	Finos (Limas y Arcillas)							
	A	Angular						
	SA	Subangular						
	SR	Subredondeada						
ALTERACIONES	PRESENCIA DE MATERIAL OXIDO: (SI/NO), (Espesor)							
	PRESENCIA DE OXIDACIONES: (SI/NO)(Bajo,Medio,Alto)							
SALES	PRESENCIA DE SALES: (Estrato / Lente)							
	(SI/NO)							
Nivel / Espesor								
Cantidad (Alto/Medio/Bajo)								

Fuente: *Elaboración Propia*

**FIGURA 33 ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO Y CONTENIDO DE HUMEDAD**

TAMIZ	ABERT. mm.	PESO RET. PARCIAL	PESO RET.	%RET. PARC.	%RET. AC.	% Q' PASA	DESCRIPCION DE LA MUESTRA
3"	76.200						PESO TOTAL : gr
2 1/2"	63.500						PESO MAT. < # 4 : gr
2"	50.800						PESO FRACCION : gr
1 1/2"	38.100						GRAVA :
1"	25.400						ARENA :
3/4"	19.100						FINOS :
1/2"	12.700						Malla < # 200 :
3/8"	9.520						CLASF. SUCS
1/4"	6.350						NOMBRE GRUPO (S.U.C.S.)
# 4	4.760						D <sub>10</sub> : ----
# 8	2.360						D <sub>30</sub> : ----
# 16	1.190						D <sub>60</sub> : ----
# 20	0.850						Coef. Uniformidad : ----
# 40	0.420						Coef. Curvatura : ----
# 60	0.250						Tam. Máx. Partícula : 2 1/2"
# 140	0.105						Napa Freática : No
# 200	0.074						Materia Orgánica : No
< # 200	FONDO						

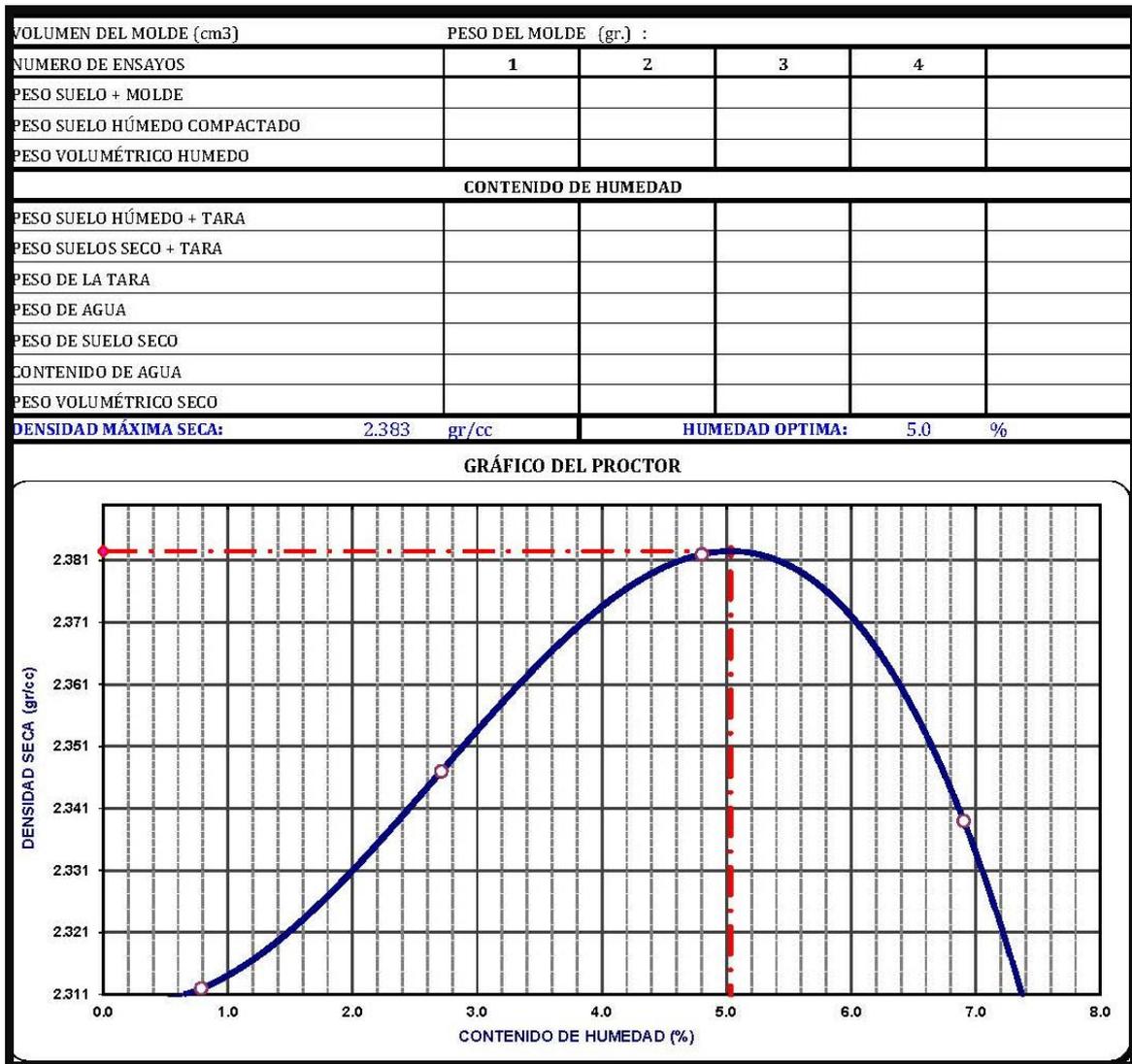
Fuente: *Laboratorio de Ensayo de Materiales Ingeniería y Construcción*

**FIGURA 34 ENSAYO DE LÍMITE DE CONSISTENCIA – LÍMITE LÍQUIDO Y LIMITE PLÁSTICO**

LIMITE LIQUIDO					
Nº TARRO					
TARRO + SUELO HUMEDO					
TARRO + SUELO SECO					
AGUA					
PESO DEL TARRO					
PESO DEL SUELO SECO					
% DE HUMEDAD					
Nº DE GOLPES					
LIMITE PLASTICO					
Nº TARRO					
TARRO + SUELO HUMEDO					
TARRO + SUELO SECO					
AGUA					
PESO DEL TARRO					
PESO DEL SUELO SECO					
% DE HUMEDAD					

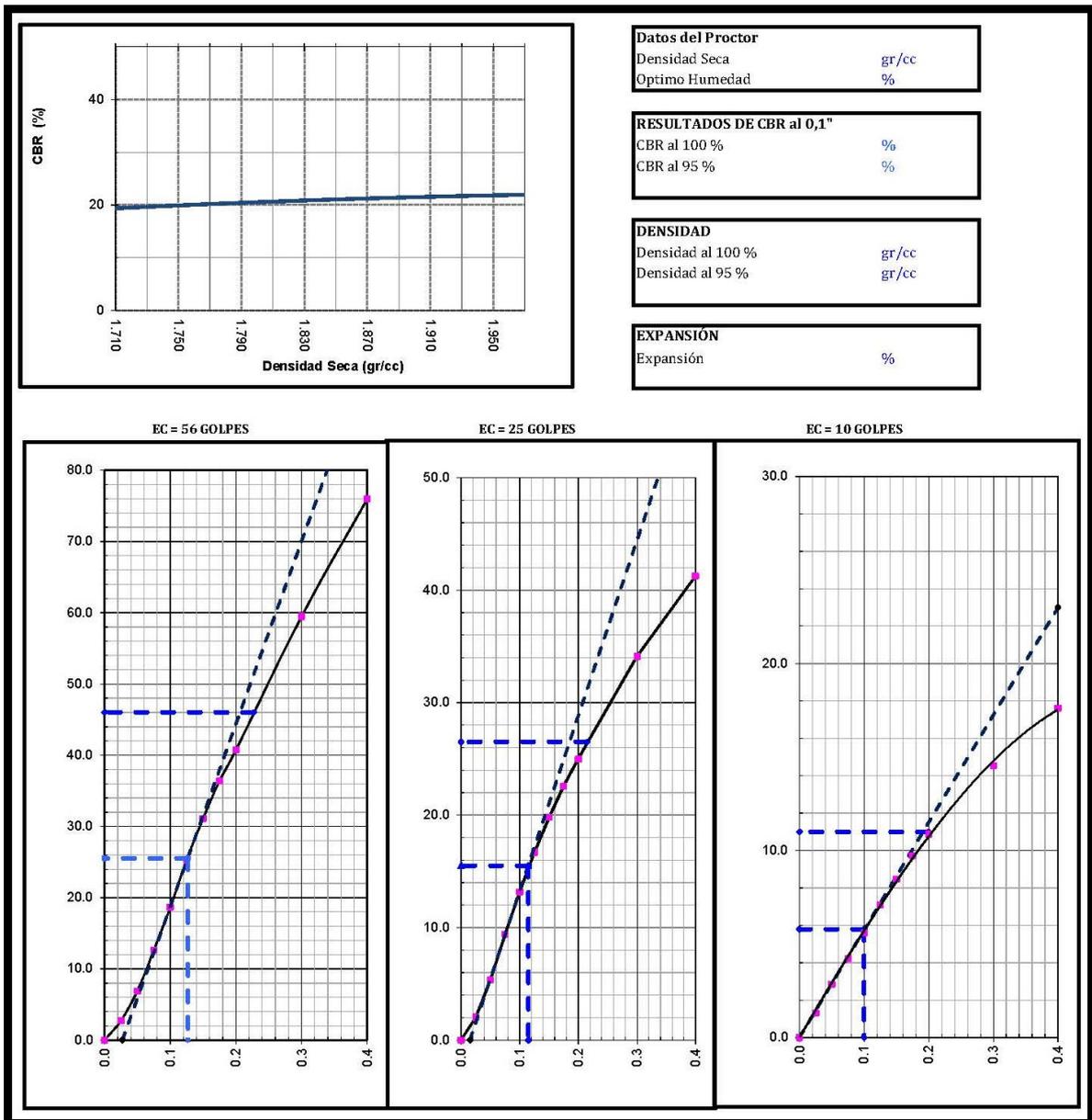
Fuente: *Laboratorio de Ensayo de Materiales Ingeniería y Construcción*

FIGURA 35 ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO



Fuente: *Laboratorio de Ensayo de Materiales Ingeniería y Construcción*

FIGURA 36 ENSAYO DE RELACIÓN DE SOPORTE DE CALIFORNIA - CBR



Fuente: *Laboratorio de Ensayo de Materiales Ingeniería y Construcción*

# **ANEXO 2**

---

## **Resultados de Ensayos de Laboratorio**

## Resultados de los Ensayos de Laboratorio

### CARTA DE AUTORIZACIÓN DE USO DE INFORMACIÓN DE EMPRESA PARA OBTENCIÓN DE TÍTULO PROFESIONAL (realizar investigación)

Yo Ángel Eduardo Gómez García, identificado con DNI N° 09903622, en mi calidad de Gerente General del área de Ingeniería de la empresa/institución Laboratorio de Ensayos de Materiales Ingeniería y Construcción R.L.U.C N°20517697088, ubicada en la ciudad de Olivos.

#### OTORGO LA AUTORIZACIÓN,

Al señor Jesús Elías Sagastegui Reátegui, identificado con DNI N° 42113732, bachiller en la carrera de Ingeniería Civil, para que utilice la información del área de Ingeniería de esta empresa/institución; con la finalidad de que pueda desarrollar su Tesis (  ) o Trabajo de Suficiencia Profesional (  ) y de esta manera optar al Título Profesional.

16 de Mayo del 2019

Adjunto a esta carta, está la siguiente documentación:

(  ) Sólo Para Modalidad Suficiencia Profesional: Adjunta Vigencia Poder Del Representante Legal de la Empresa con vigencia no menor a 90 días,

**LEMICONS S.R.L.**

  
Ing. Ángel E. Gómez García  
Gerente General

Firma del Representante de la Empresa  
DNI: 09903622

El Bachiller declara que los datos emitidos en esta carta y en la Tesis o Trabajo de Suficiencia Profesional son auténticos. En caso de comprobarse la falsedad de datos, el Bachiller será sometido al inicio del procedimiento disciplinario correspondiente; y asimismo, asumirá toda la responsabilidad ante posibles acciones legales que la empresa, otorgante de información, pueda ejecutar.

  
Firma del Bachiller  
DNI: 42113732

FIGURA 37 CLASIFICACIÓN DE SUELOS - TERRENO NATURAL

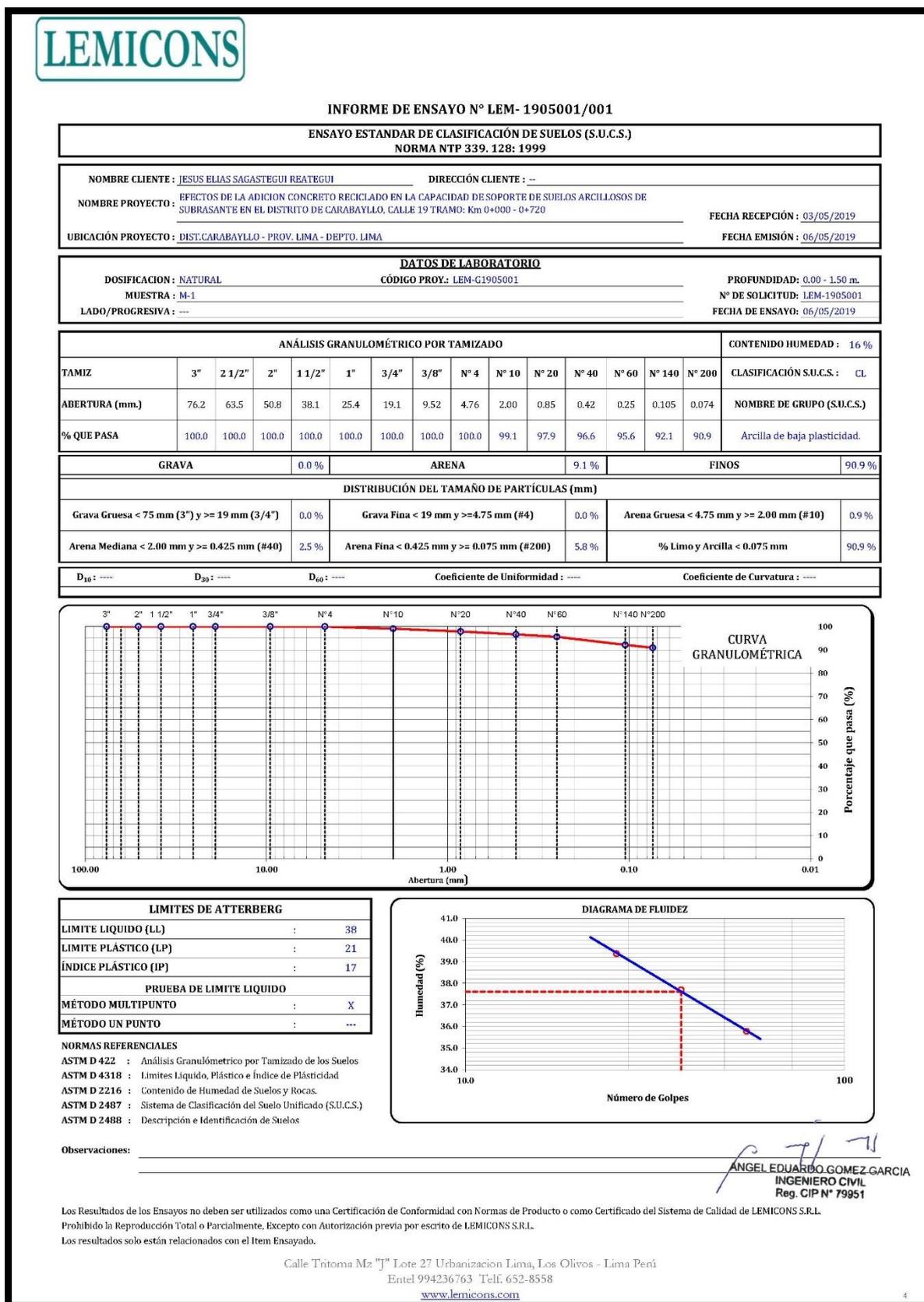


FIGURA 38 PROCTOR MODIFICADO – TERRENO NATURAL

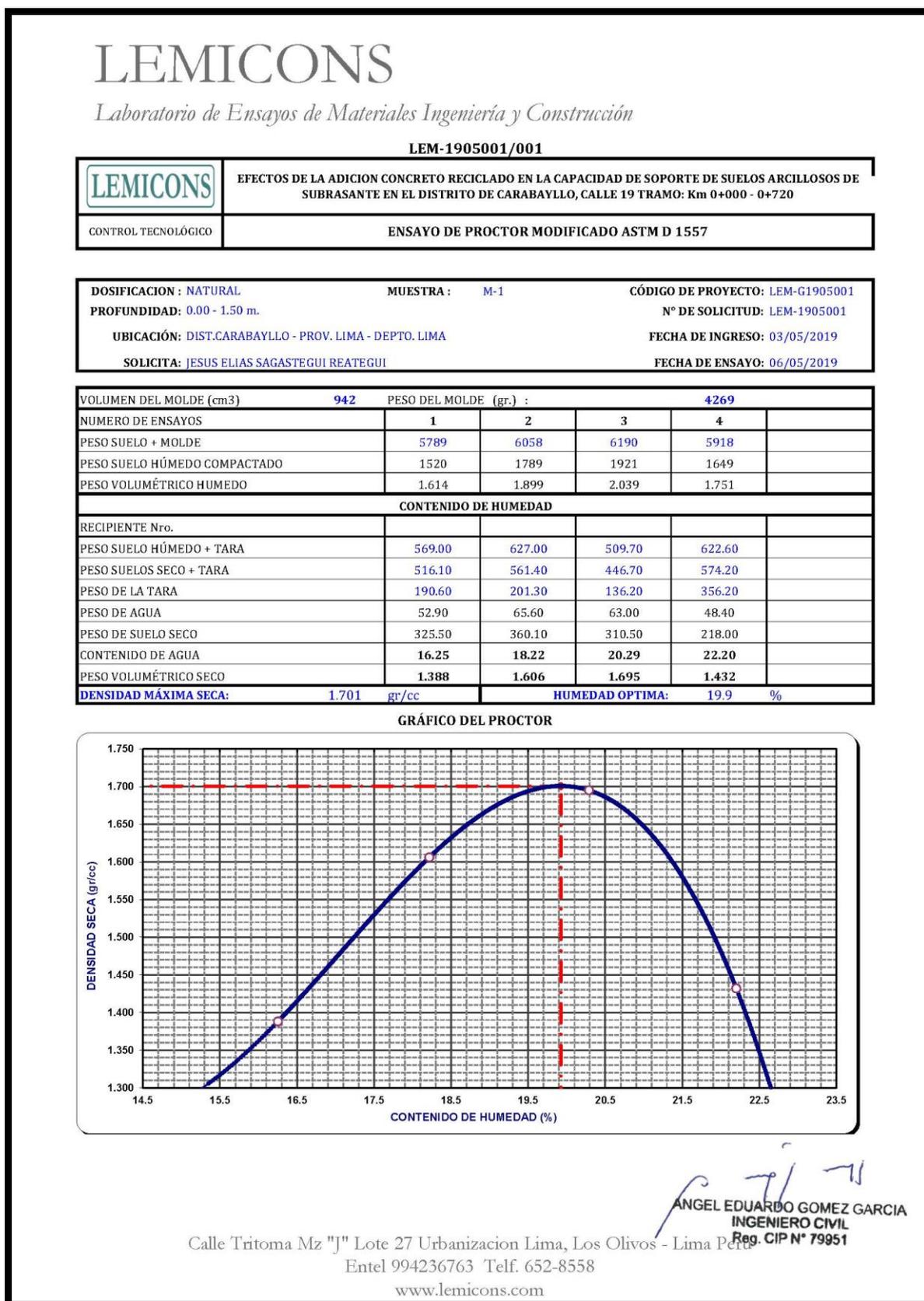




FIGURA 40 ENSAYO DE CBR – TERRENO NATURAL

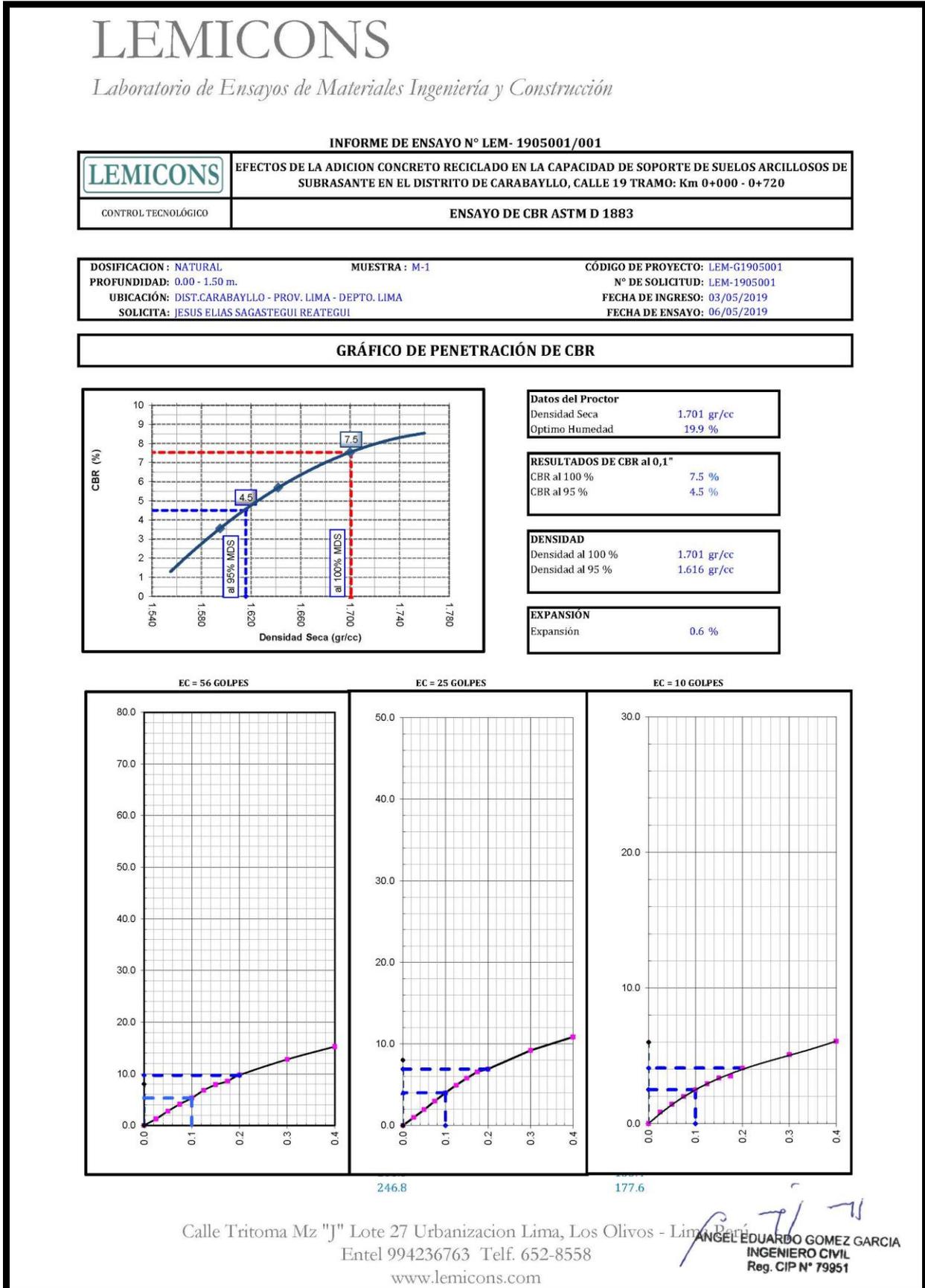


FIGURA 41 CLASIFICACIÓN DE SUELOS – TERRENO NATURAL + 5% CONCRETO RECICLADO

**INFORME DE ENSAYO N° LEM- 1905001/002**

**ENSAYO ESTANDAR DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS (S.U.C.S.)  
NORMA ASTM D 2487**

NOMBRE CLIENTE : <u>JESUS ELIAS SAGASTEGUI REATEGUI</u>	DIRECCIÓN CLIENTE : <u>--</u>
NOMBRE PROYECTO : <u>EFFECTO DE LA ADICIÓN DE CONCRETO RECICLADO EN LA CAPACIDAD DE SOPORTE DE SUELOS ARCILLOSOS DE SUBRASANTE EN EL DISTRITO DE CARABAYLLO, CALLE 19 TRAMO: Km 0+000 - 0+720</u>	
UBICACIÓN PROYECTO : <u>DIST:CARABAYLLO - PROV. LIMA - DEPTO. LIMA</u>	FECHA RECEPCIÓN : <u>03/05/2019</u>
	FECHA EMISIÓN : <u>06/05/2019</u>

**DATOS DE LABORATORIO**

CALICATA : <u>5 %</u>	CÓDIGO PROV.: <u>LEM-G1905001</u>	PROFUNDIDAD: <u>0.00 - 1.50 m.</u>
MUESTRA : <u>M-1</u>		N° DE SOLICITUD: <u>LEM-1905001</u>
LADO/PROGRESIVA : <u>---</u>		FECHA DE ENSAYO: <u>06/05/2019</u>

**ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO**

	3"	2 1/2"	2"	1 1/2"	1"	3/4"	3/8"	N° 4	N° 10	N° 20	N° 40	N° 60	N° 140	N° 200	CONTENIDO HUMEDAD: <u>12 %</u>
ABERTURA (mm)	76.2	63.5	50.8	38.1	25.4	19.1	9.52	4.76	2.00	0.85	0.42	0.25	0.105	0.074	CLASIFICACIÓN S.U.C.S. : <u>CL</u>
% QUE PASA	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	99.8	99.4	98.2	93.9	84.3	71.9	69.4	NOMBRE DE GRUPO (S.U.C.S.) <u>Arcilla arenosa de baja plasticidad.</u>

GRAVA	0.2 %	ARENA	30.5 %	FINOS	69.4 %
-------	-------	-------	--------	-------	--------

**DISTRIBUCIÓN DEL TAMAÑO DE PARTÍCULAS (m.m)**

Grava Gruesa < 75 mm (3") y >= 19 mm (3/4")	0.0 %	Grava Fina < 19 mm y >= 4.75 mm (#4)	0.2 %	Arena Gruesa < 4.75 mm y >= 2.00 mm (#10)	0.5 %
Arena Mediana < 2.00 mm y >= 0.425 mm (#40)	5.5 %	Arena Fina < 0.425 mm y >= 0.075 mm (#200)	24.5 %	% Limo y Arcilla < 0.075 mm	69.4 %

D <sub>10</sub> : ----	D <sub>30</sub> : ----	D <sub>60</sub> : ----	Coeficiente de Uniformidad: ----	Coeficiente de Curvatura: ----
------------------------	------------------------	------------------------	----------------------------------	--------------------------------

**CURVA GRANULOMÉTRICA**

LIMITES DE ATTERBERG	
LIMITE LIQUIDO (LL)	28
LIMITE PLÁSTICO (LP)	17
ÍNDICE PLÁSTICO (IP)	11
PRUEBA DE LIMITE LIQUIDO	
MÉTODO MULTIPUNTO	X
MÉTODO UN PUNTO	---

NORMAS REFERENCIALES  
 ASTM D 422 : Análisis Granulométrico por Tamizado de los Suelos  
 ASTM D 4318 : Límites Líquido, Plástico e Índice de Plasticidad  
 ASTM D 2216 : Contenido de Humedad de Suelos y Rocas.  
 ASTM D 2487 : Sistema de Clasificación del Suelo Unificado (S.U.C.S.)  
 ASTM D 2488 : Descripción e Identificación de Suelos

**DIAGRAMA DE FLUIDEZ**

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

**ANGEL EDUARDO GOMEZ GARCIA**  
 INGENIERO CIVIL  
 Reg. CIP N° 79951

Los Resultados de los Ensayos no deben ser utilizados como una Certificación de Conformidad con Normas de Producto o como Certificado del Sistema de Calidad de LEMICONS S.R.L.  
 Prohibido la Reproducción Total o Parcialmente, Excepto con Autorización previa por escrito de LEMICONS S.R.L.  
 Los resultados solo están relacionados con el Item Ensayado.

Calle Tritoma Mz "J" Lote 27 Urbanización Lima, Los Olivos - Lima Perú  
 Entel 994236763 Telf. 652-8558  
[www.lemicons.com](http://www.lemicons.com)

Sagastegui Reátegui Jesús Elías

Pág. 89

FIGURA 42 PROCTOR MODIFICADO – TERRENO NATURAL + 5% CONCRETO RECICLADO

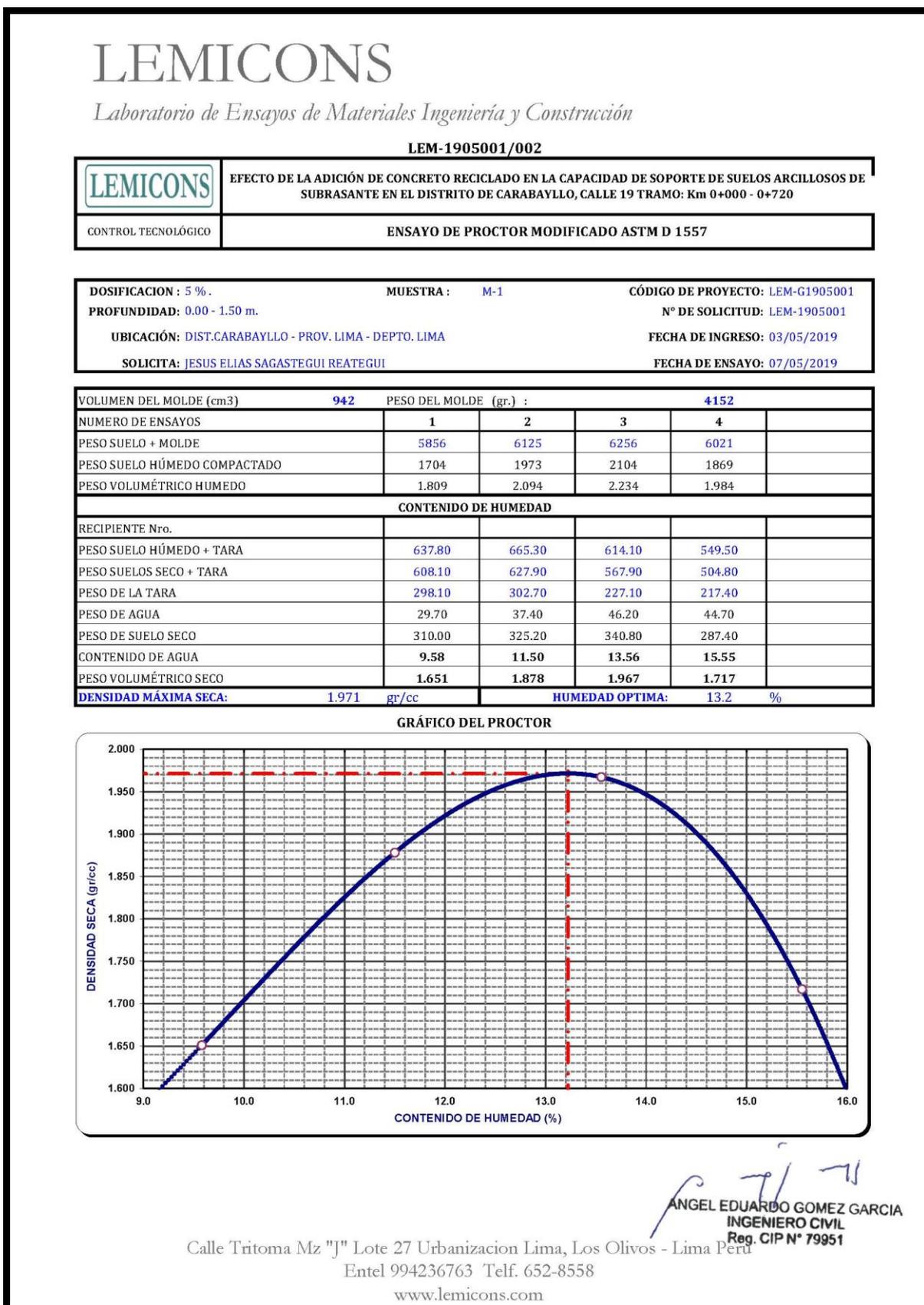




FIGURA 44 ENSAYO DE CBR – TERRENO NATURAL + 5% CONCRETO RECICLADO

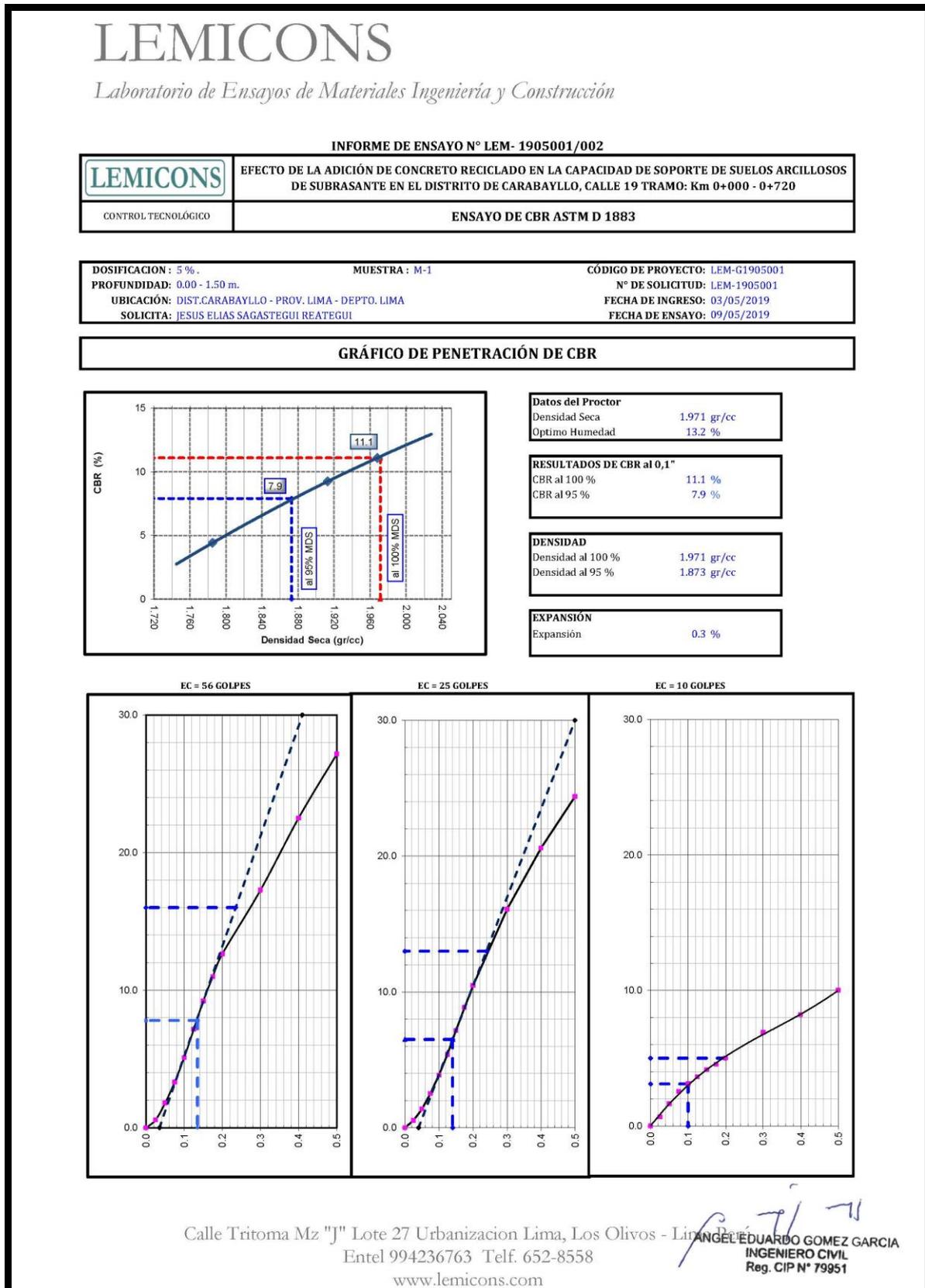


FIGURA 45 CLASIFICACIÓN DE SUELOS – TERRENO NATURAL + 15% CONCRETO RECICLADO

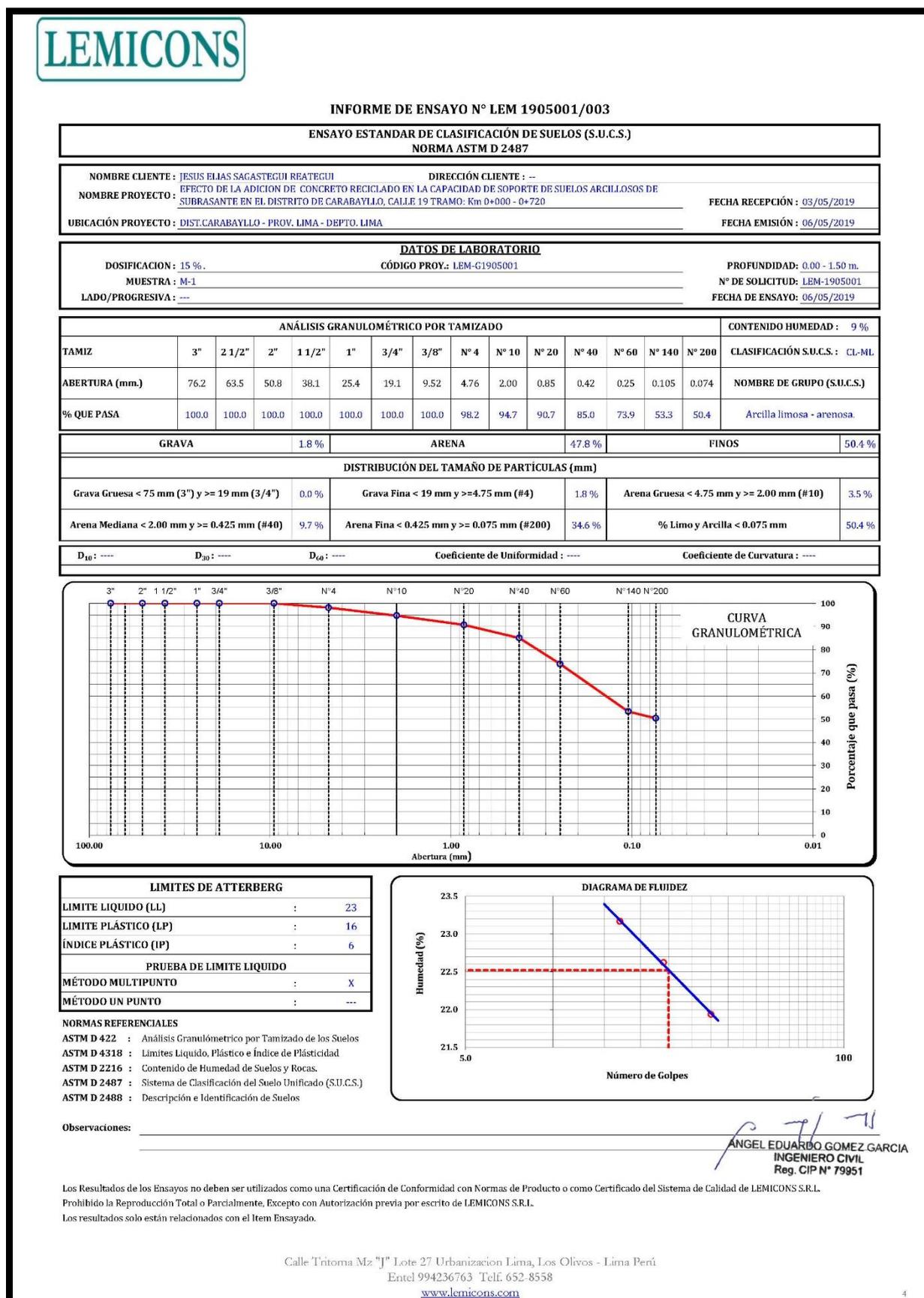


FIGURA 46 PROCTOR MODIFICADO – TERRENO NATURAL + 15% CONCRETO RECICLADO

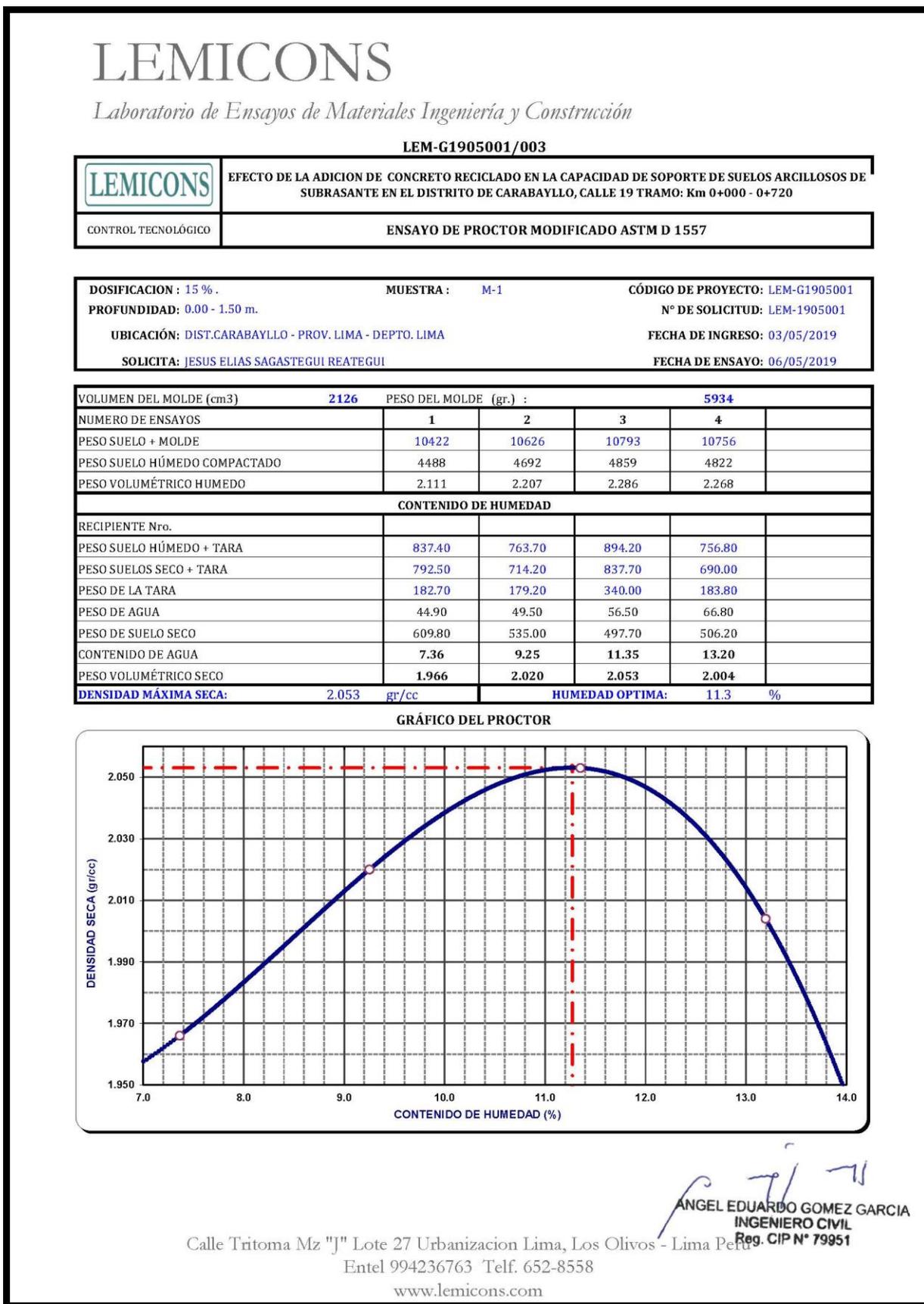


FIGURA 47 ENSAYO DE CBR – TERRENO NATURAL + 15% CONCRETO RECICLADO

# LEMICONS

Laboratorio de Ensayos de Materiales Ingeniería y Construcción

**INFORME DE ENSAYO N° LEM- 1905001/003**

<b>LEMICONS</b>	<b>EFECTO DE LA ADICION DE CONCRETO RECICLADO EN LA CAPACIDAD DE SOPORTE DE SUELOS ARCILLOSOS DE SUBRASANTE EN EL DISTRITO DE CARABAYLLO, CALLE 19 TRAMO: Km 0+000 - 0+720</b>
CONTROL TECNOLÓGICO	<b>ENSAYO DE CBR ASTM D 1883</b>

DOSIFICACION : 15 % .	MUESTRA : M-1	CÓDIGO DE PROYECTO: LEM-G1905001
PROFUNDIDAD: 0.00 - 1.50 m.		N° DE SOLICITUD: LEM-1905001
UBICACIÓN: DIST.CARABAYLLO - PROV. LIMA - DEPTO. LIMA		FECHA DE INGRESO: 03/05/2019
SOLICITA: JESUS ELIAS SAGASTEGUI REATEGUI		FECHA DE ENSAYO: 06/05/2019

Molde N°	7	15	13
N° Capa	5	5	5
Golpes por capa N°	56	25	10
Cond. de la muestra	NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO
	NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO
Peso molde + Suelo húmedo	11118	11246	12380
Peso de molde (gr)	6555	6555	8038
Peso del suelo húmedo (gr)	4563	4691	4342
Volumen del molde (cc)	2120	2120	2124
Densidad húmeda (gr/cc)	2.152	2.213	2.044
% de humedad	9.11	16.61	9.67
Densidad seca (gr/cc)	1.972	1.898	1.864
Densidad Máxima Laboratorio (grs/cc)	2.053	2.053	2.053
	96.1	92.5	90.8
Tarro N°			
Tarro + Suelo húmedo ( gr. )	525.00	664.40	505.90
Tarro + Suelo seco ( gr. )	507.30	613.70	480.30
Peso del Agua ( gr. )	17.70	50.70	25.60
Peso del tarro ( gr. )	313.10	308.50	215.50
Peso del suelo seco ( gr. )	194.20	305.20	264.80
% de humedad	9.1	16.6	9.7
Promedio de Humedad (%)			

**EXPANSIÓN**

FECHA	HORA	TIEMPO Hr.	DIAL	EXPANSIÓN		DIAL	EXPANSIÓN		DIAL	EXPANSIÓN	
				mm	%		mm	%		mm	%
<b>Sub Total</b>					0.10			0.10			0.20
<b>Total</b>											0.1 %

**PENETRACIÓN**

PENETRACIÓN pulg	CARGA STAND. kg/cm2	MOLDE N° 7				MOLDE N° 15				MOLDE N° 13			
		CARGA		CORRECCIÓN		CARGA		CORRECCIÓN		CARGA		CORRECCIÓN	
		Kg-f	kg/cm2	kg/cm2	%	Kg-f	kg/cm2	kg/cm2	%	Kg-f	kg/cm2	kg/cm2	%
0.000		0.0	0.0			0.0	0.0			0.0	0.0		
0.025		35.3	1.8			27.8	1.4			9.0	0.5		
0.050		115.7	6.0			77.8	4.0			18.1	0.9		
0.075		223.4	11.6			133.6	6.9			28.9	1.5		
0.100	70	359.3	18.6	27.0	38.4	189.9	9.8	12.0	17.1	43.7	2.3	3.5	5.0
0.125		483.2	25.0			237.6	12.3			61.6	3.2		
0.150		602.8	31.2			284.4	14.7			81.0	4.2		
0.175		723.1	37.4			312.9	16.2			102.3	5.3		
0.200	105	841.6	43.6	50.0	47.6	353.8	18.3	19.0	18.1	123.5	6.4	7.4	7.0
0.300		1231.5	63.7			453.0	23.4			184.7	9.6		
0.400		1380.1	71.4			509.4	26.4			249.2	12.9		
0.500		1514.0	78.4			548.8	28.4			295.1	15.3		

Calle Tritoma Mz "J" Lote 27 Urbanización Lima, Los Olivos - Lima Perú  
 Entel 994236763 Telf. 652-8558  
[www.lemicons.com](http://www.lemicons.com)

ANGEL EDUARDO GOMEZ GARCIA  
 INGENIERO CIVIL  
 Reg. CIP N° 79951

FIGURA 48 ENSAYO DE CBR – TERRENO NATURAL + 15% CONCRETO RECICLADO

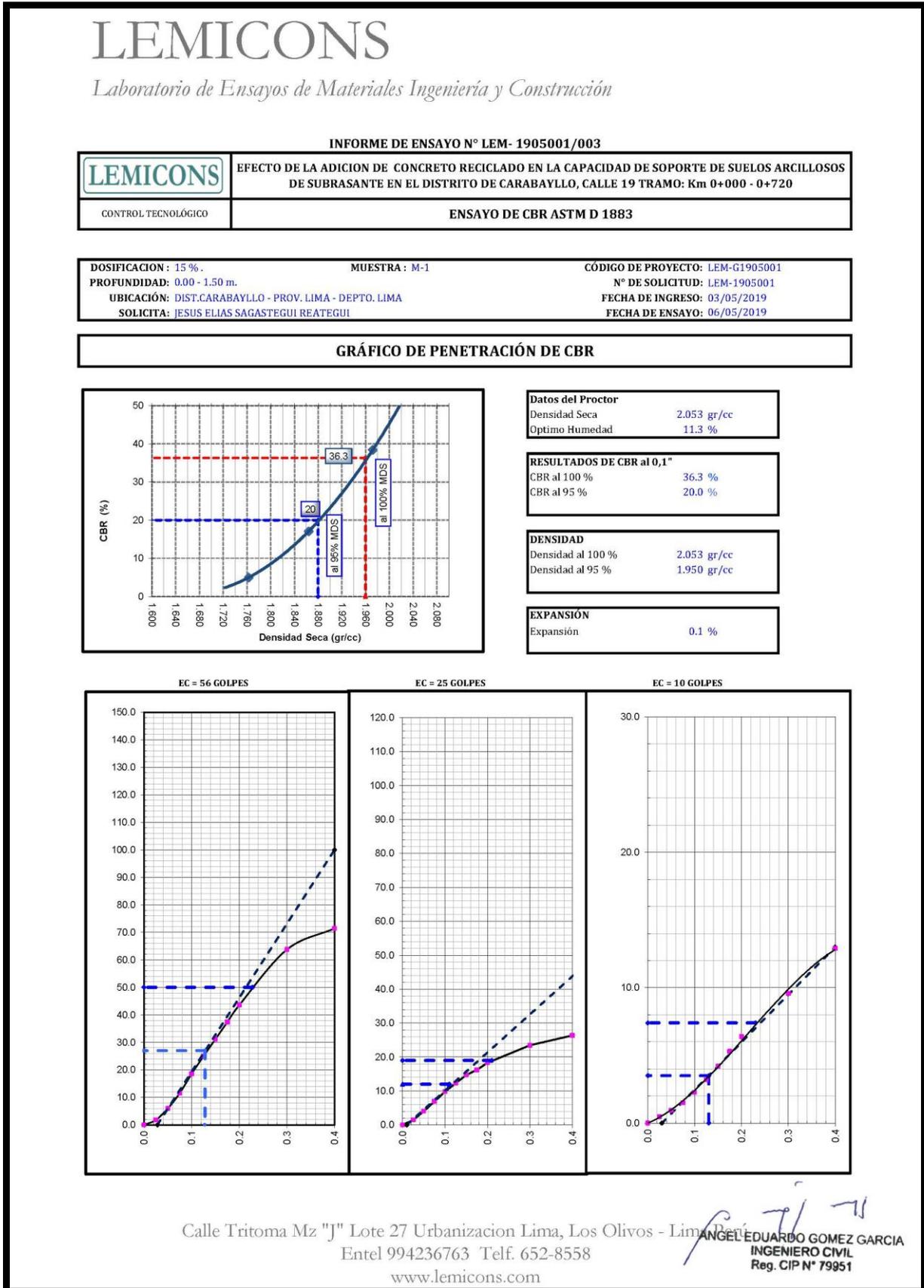


FIGURA 49 CLASIFICACIÓN DE SUELOS – TERRENO NATURAL + 25% CONCRETO RECICLADO

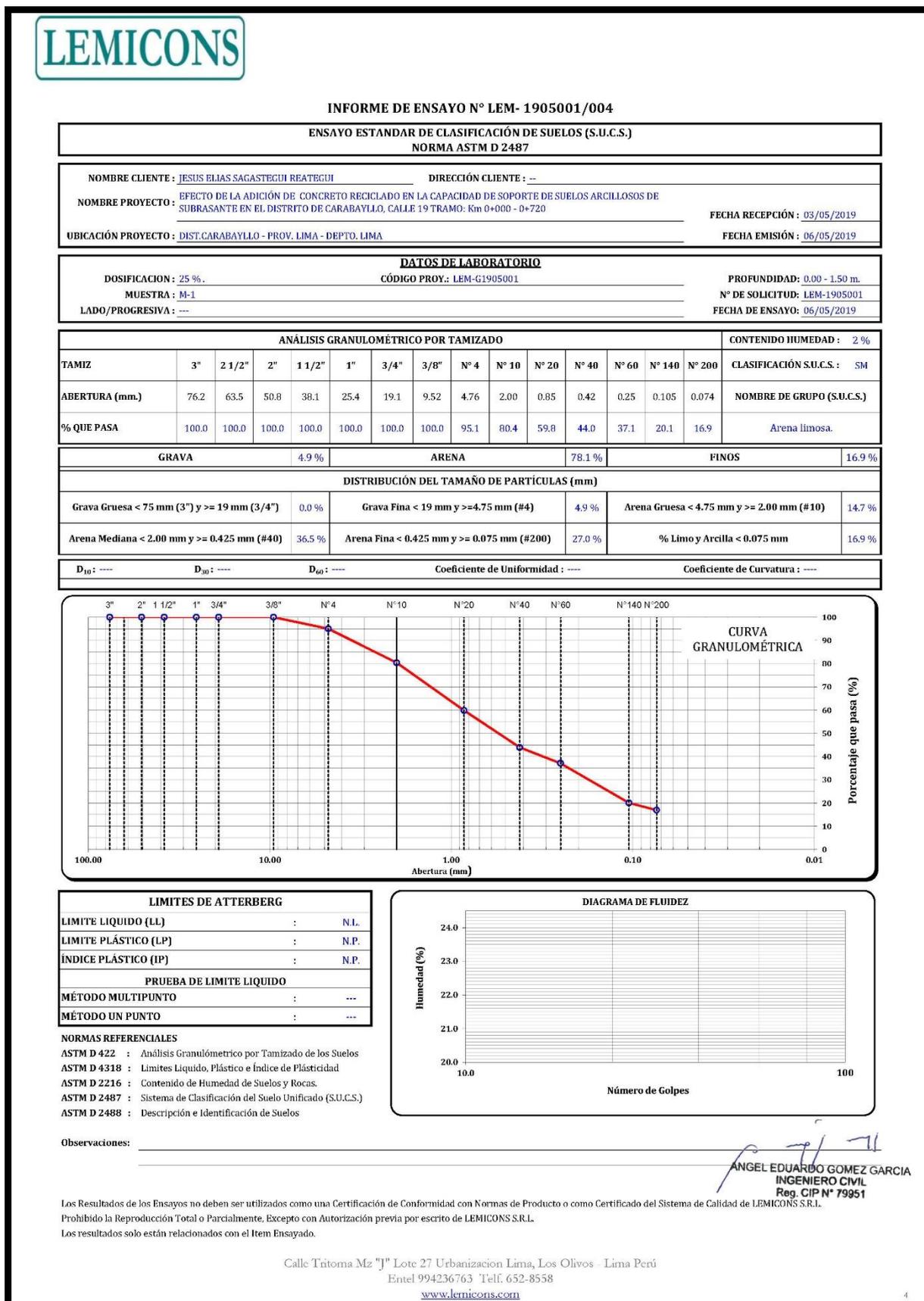


FIGURA 50 PROCTOR MODIFICADO – TERRENO NATURAL +25% CONCRETO RECICLADO

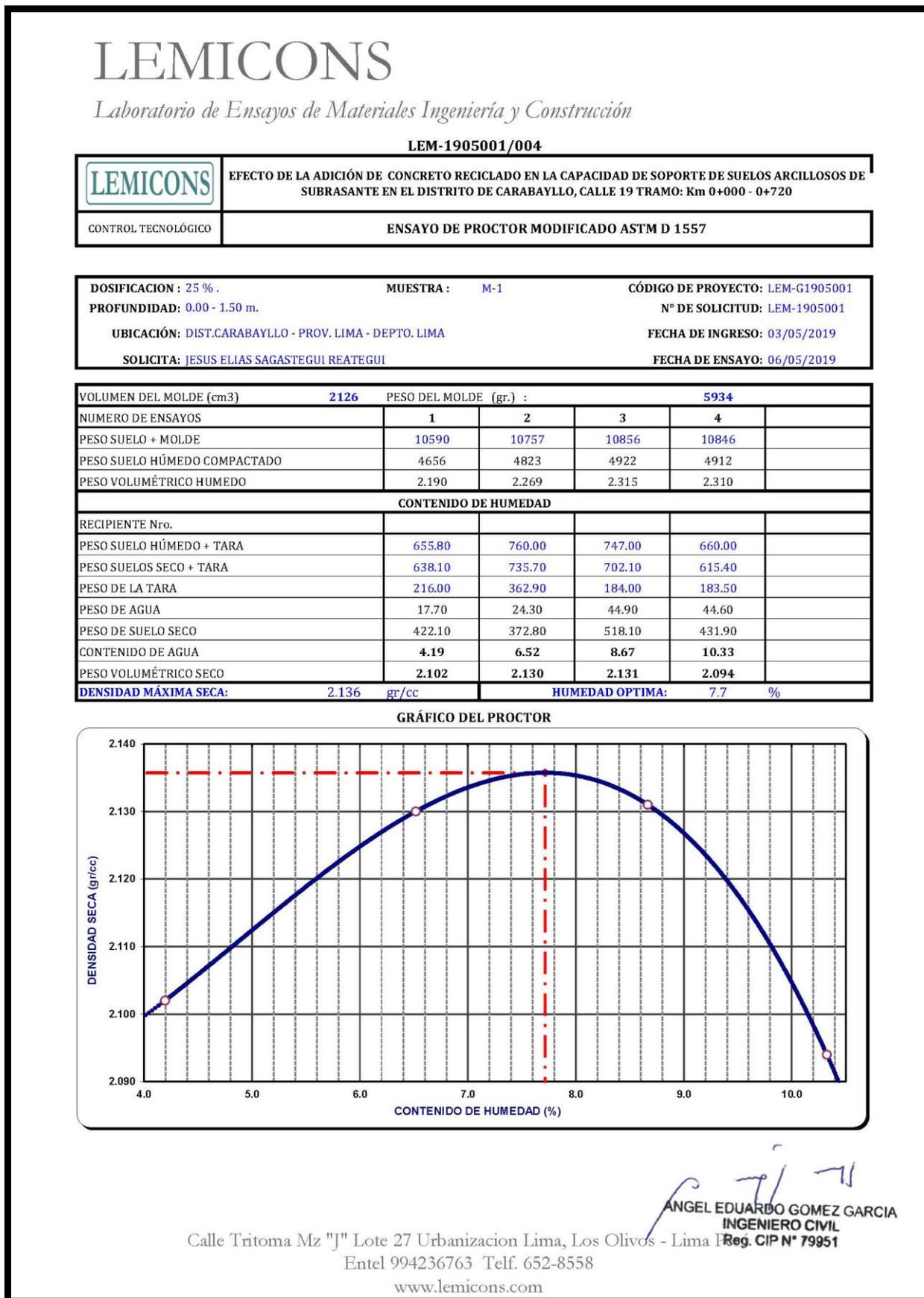




FIGURA 52 ENSAYO DE CBR - TERRENO NATURAL +25% CONCRETO RECICLADO

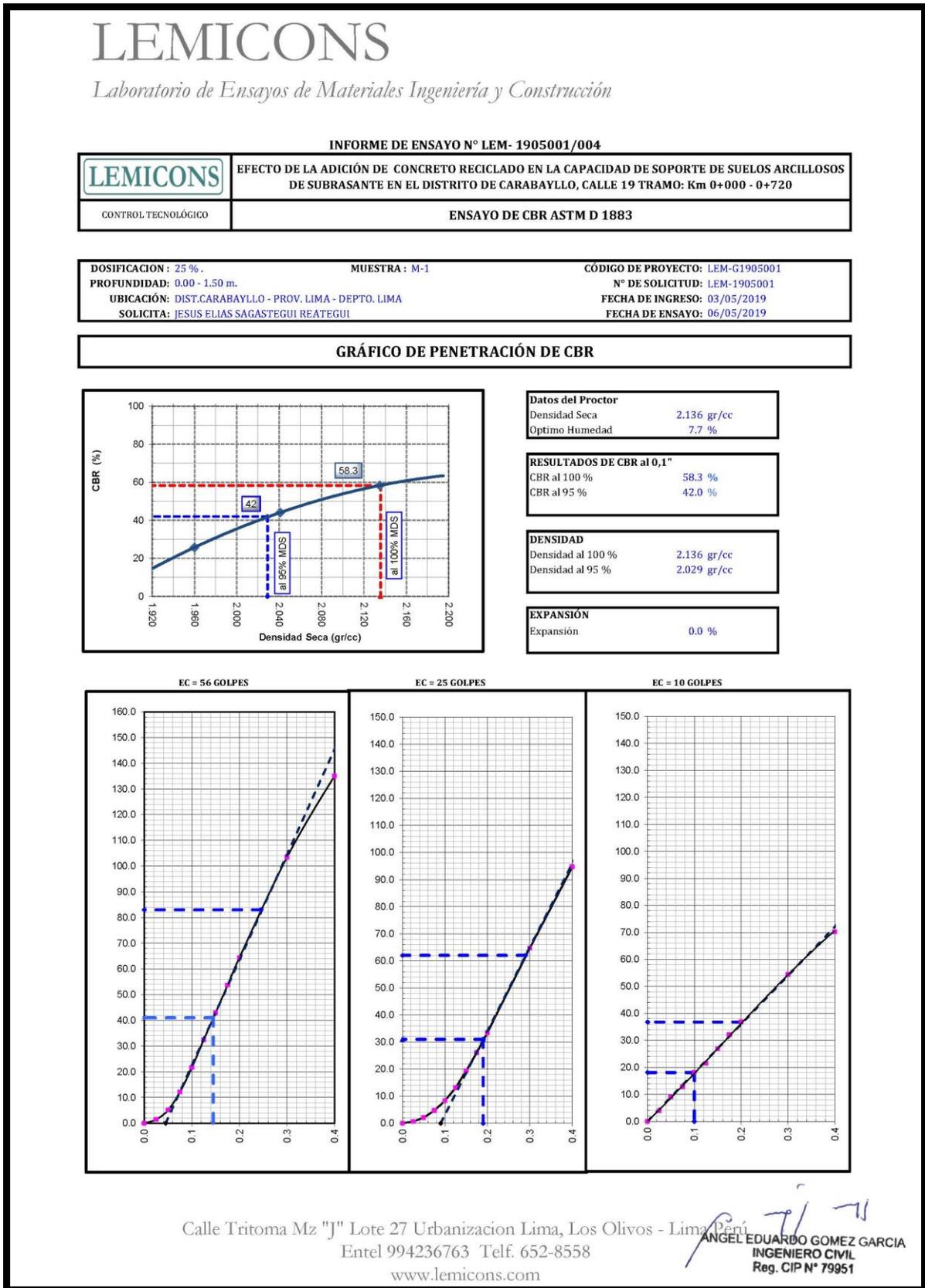


FIGURA 53 CLASIFICACIÓN DE SUELOS – TERRENO NATURAL +35% CONCRETO RECICLADO

**INFORME DE ENSAYO N° LEM- 1905001/005**

**ENSAYO ESTANDAR DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS (S.U.C.S.)  
NORMA ASTM D 2487**

NOMBRE CLIENTE : JESUS ELIAS SAGASTEGUI REATEGUI		DIRECCIÓN CLIENTE : --	
NOMBRE PROYECTO : EFECTOS DE LA ADICION DE CONCRETO RECICLADO EN LA CAPACIDAD DE SOPORTE DE SUELOS ARCILLOSOS DE SUBRASANTE EN EL DISTRITO DE CARABAYLLO, CALLE 19 TRAMO: Km 0+000 - 0+720			FECHA RECEPCIÓN : 03/05/2019
UBICACIÓN PROYECTO : DIST. CARABAYLLO - PROV. LIMA - DEPTO. LIMA			FECHA EMISIÓN : 06/05/2019

**DATOS DE LABORATORIO**

DOSIFICACION : 35 %	CÓDIGO PROY. : LEM-G1905001	PROFUNDIDAD : 0.00 - 1.50 m.
MUESTRA : M-1		N° DE SOLICITUD : LEM-1905001
LADO/PROGRESIVA : ---		FECHA DE ENSAYO : 06/05/2019

**ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO**

TAMIZ	3"	2 1/2"	2"	1 1/2"	1"	3/4"	3/8"	N° 4	N° 10	N° 20	N° 40	N° 60	N° 140	N° 200	CONTENIDO HUMEDAD : 2 %
ABERTURA (mm.)	76.2	63.5	50.8	38.1	25.4	19.1	9.52	4.76	2.00	0.85	0.42	0.25	0.105	0.074	CLASIFICACIÓN S.U.C.S. : SM
% QUE PASA	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	93.4	85.0	69.1	52.3	39.5	31.4	25.7	37.9	NOMBRE DE GRUPO (S.U.C.S.) Arena limosa.

GRAVA	15.0 %	ARENA	47.2 %	FINOS	37.9 %
-------	--------	-------	--------	-------	--------

**DISTRIBUCIÓN DEL TAMAÑO DE PARTÍCULAS (m m)**

Grava Gruesa < 75 mm (3") y >= 19 mm (3/4")	0.0 %	Grava Fina < 19 mm y >= 4.75 mm (#4)	15.0 %	Arena Gruesa < 4.75 mm y >= 2.00 mm (#10)	15.9 %
Arena Mediana < 2.00 mm y >= 0.425 mm (#40)	29.7 %	Arena Fina < 0.425 mm y >= 0.075 mm (#200)	1.6 %	% Limo y Arcilla < 0.075 mm	37.9 %

D <sub>10</sub> : ---	D <sub>30</sub> : ---	D <sub>60</sub> : ---	Coefficiente de Uniformidad : ---	Coefficiente de Curvatura : ---
-----------------------	-----------------------	-----------------------	-----------------------------------	---------------------------------

CURVA GRANULOMÉTRICA

LÍMITES DE ATTERBERG	
LÍMITE LÍQUIDO (LL)	: N.L.
LÍMITE PLÁSTICO (LP)	: N.P.
ÍNDICE PLÁSTICO (IP)	: N.P.
PRUEBA DE LÍMITE LÍQUIDO	
MÉTODO MULTIPUNTO	: ---
MÉTODO UN PUNTO	: ---

DIAGRAMA DE FLUIDEZ

NORMAS REFERENCIALES

ASTM D 422 : Análisis Granulométrico por Tamizado de los Suelos

ASTM D 4318 : Límites Líquido, Plástico e Índice de Plasticidad

ASTM D 2216 : Contenido de Humedad de Suelos y Rocas.

ASTM D 2487 : Sistema de Clasificación del Suelo Unificado (S.U.C.S.)

ASTM D 2488 : Descripción e Identificación de Suelos

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

ANGEL EDUARDO GOMEZ GARCIA  
INGENIERO CIVIL  
Reg. CIP N° 79951

Los Resultados de los Ensayos no deben ser utilizados como una Certificación de Conformidad con Normas de Producto o como Certificado del Sistema de Calidad de LEMICONS S.R.L.  
Prohibido la Reproducción Total o Parcialmente, Excepto con Autorización previa por escrito de LEMICONS S.R.L.  
Los resultados solo están relacionados con el Item Ensayado.

Calle Tritoma Mz "J" Lote 27 Urbanización Lima, Los Olivos - Lima Perú  
Entel 994236763 Telf. 652-8558  
[www.lemicons.com](http://www.lemicons.com)

Sagastegui Reátegui Jesús Elías

Pág. 101

FIGURA 54 PROCTOR MODIFICADO – TERRENO NATURAL +35% CONCRETO RECICLADO

# LEMICONS

Laboratorio de Ensayos de Materiales Ingeniería y Construcción

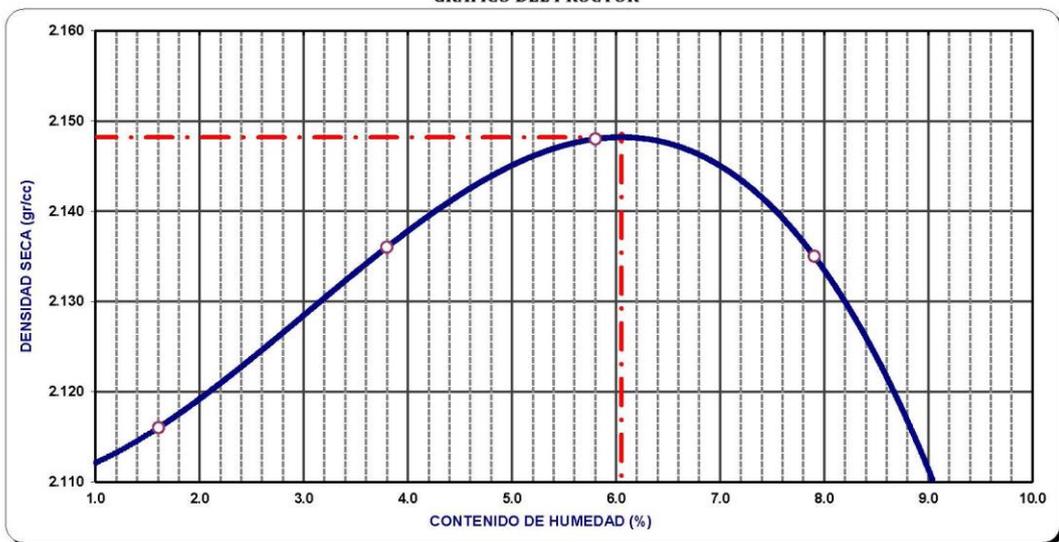
LEM-1905001/005

<b>LEMICONS</b>	<b>EFFECTOS DE LA ADICION DE CONCRETO RECICLADO EN LA CAPACIDAD DE SOPORTE DE SUELOS ARCILLOSOS DE SUBRASANTE EN EL DISTRITO DE CARABAYLLO, CALLE 19 TRAMO: Km 0+000 - 0+720</b>
	<b>ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO ASTM D 1557</b>

<b>DOSIFICACION :</b> 35 % .	<b>MUESTRA :</b> M-1	<b>CÓDIGO DE PROYECTO:</b> LEM-G1905001
<b>PROFUNDIDAD:</b> 0.00 - 1.50 m.		<b>N° DE SOLICITUD:</b> LEM-1905001
<b>UBICACIÓN:</b> DIST.CARABAYLLO - PROV. LIMA - DEPTO. LIMA		<b>FECHA DE INGRESO:</b> 03/05/2019
<b>SOLICITA:</b> JESUS ELIAS SAGASTEGUI REATEGUI		<b>FECHA DE ENSAYO:</b> 06/05/2019

<b>VOLUMEN DEL MOLDE (cm3)</b>	<b>2126</b>				<b>PESO DEL MOLDE (gr.) :</b>	<b>6443</b>			
<b>NUMERO DE ENSAYOS</b>		<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>				
<b>PESO SUELO + MOLDE</b>		11014	11156	11275	11340				
<b>PESO SUELO HÚMEDO COMPACTADO</b>		4571	4713	4832	4897				
<b>PESO VOLUMÉTRICO HUMEDO</b>		2.150	2.217	2.273	2.303				
<b>CONTENIDO DE HUMEDAD</b>									
<b>PESO SUELO HÚMEDO + TARA</b>		919.00	850.90	955.80	1097.80				
<b>PESO SUELOS SECO + TARA</b>		908.00	826.90	915.10	1039.80				
<b>PESO DE LA TARA</b>		222.60	195.20	213.60	306.10				
<b>PESO DE AGUA</b>		11.00	24.00	40.70	58.00				
<b>PESO DE SUELO SECO</b>		685.40	631.70	701.50	733.70				
<b>CONTENIDO DE AGUA</b>		<b>1.60</b>	<b>3.80</b>	<b>5.80</b>	<b>7.91</b>				
<b>PESO VOLUMÉTRICO SECO</b>		<b>2.116</b>	<b>2.136</b>	<b>2.148</b>	<b>2.135</b>				
<b>DENSIDAD MÁXIMA SECA:</b>		<b>2.148 gr/cc</b>				<b>HUMEDAD OPTIMA:</b>	<b>6.1 %</b>		

GRÁFICO DEL PROCTOR

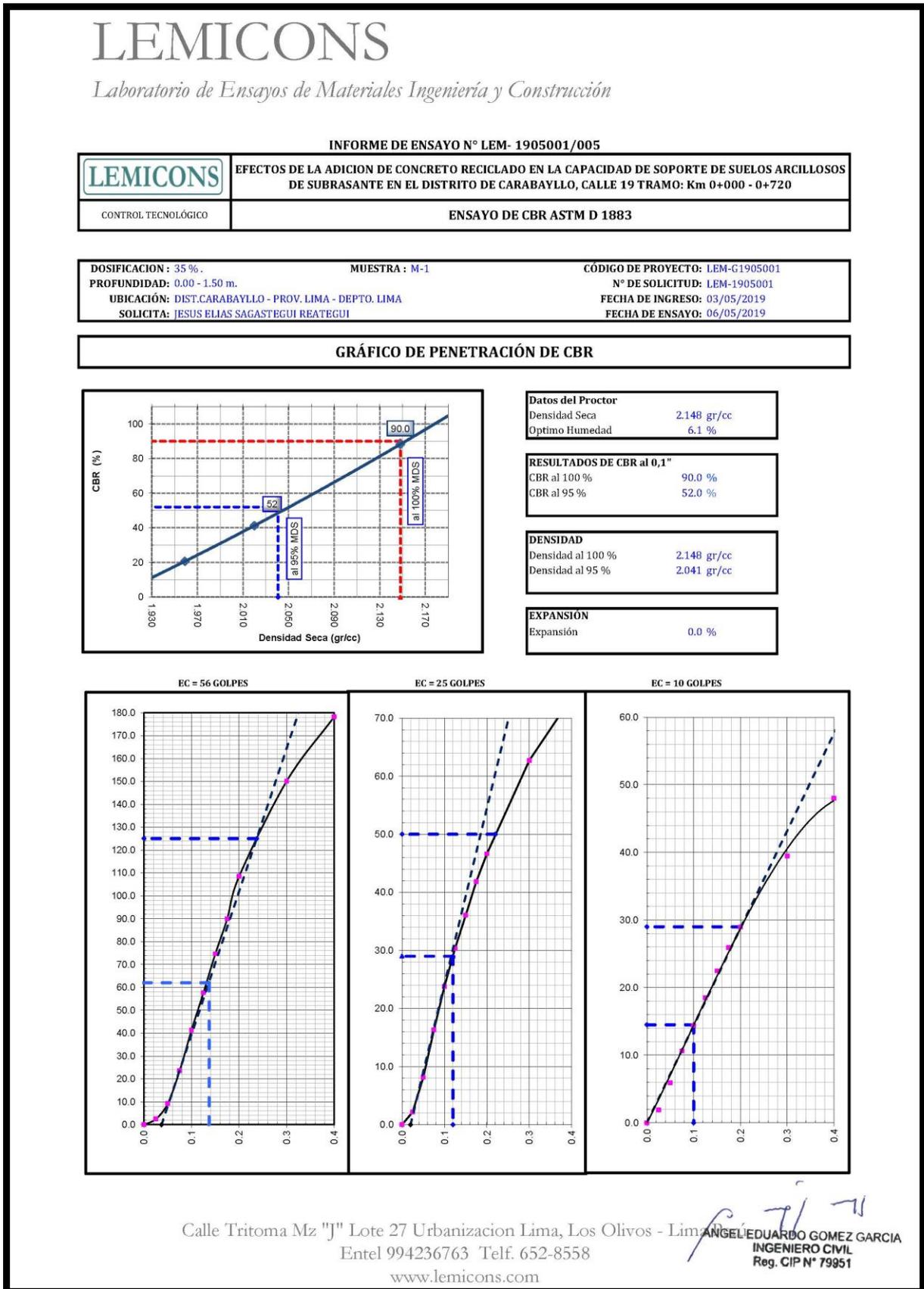


*Angel Eduardo Gomez Garcia*  
**ANGEL EDUARDO GOMEZ GARCIA**  
 INGENIERO CIVIL  
 Reg. CIP N° 79951

Calle Tritoma Mz "J" Lote 27 Urbanización Lima, Los Olivos - Lima Perú  
 Entel 994236763 Telf. 652-8558  
 www.lemicons.com



FIGURA 56 ENSAYO DE CBR – TERRENO NATURAL +35% CONCRETO RECICLADO



# **ANEXO 3**

---

## **Panel Fotográfico**

## PANEL FOTOGRAFICO

### TERRENO NATURAL



UNIVERSIDAD  
PRIVADA  
DEL NORTE

### Clasificación de Suelos



Foto N°1 homogeneización del material



Foto N°2 proceso de cuarteo

## TERRENO NATURAL

 <p>UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE</p>	<h3>Clasificación de Suelos</h3>	
		
<p>Foto N° 3 cuarteo</p>	<p>Foto N° 4 ensayo de clasificación</p>	

## TERRENO NATURAL



UNIVERSIDAD  
PRIVADA  
DEL NORTE

### Límite de contracción



Foto N° 5 porción de suelo humedecida y amasada



Foto N° 6 realización del ensayo en la copa Casagrande

## TERRENO NATURAL



### Límite de contracción



Foto N° 7 preparación de muestras para el límite líquido y plástico



Foto N° 8 secado de las muestras en el horno

**TERRENO NATURAL**

 <p>UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE</p>	<p>Proctor Modificado</p>
	
<p>Foto N° 9 capa de espesor uniforme del material</p>	<p>Foto N° 10 uso del pisón para realizar el ensayo</p>

**TERRENO NATURAL**



UNIVERSIDAD  
PRIVADA  
DEL NORTE

Ensayo de CBR



Foto N° 11 preparación de los especímenes



Foto N° 12 saturación de los especímenes

## TERRENO NATURAL

 <p>UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE</p>	<h3>Ensayo de CBR</h3>	
		
<p>Foto N° 13 expansión del suelo</p>	<p>Foto N° 14 lectura del suelo</p>	

## CONCRETO RECICLADO

 <p>UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE</p>	<p>Preparación del Concreto Reciclado.</p>	
		
<p>Foto N° 15 trituración del concreto</p>	<p>Foto N° 16 concreto a utilizar en las dosificaciones</p>	

## CONCRETO RECICLADO

 <p>UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE</p>	<h3>Preparación del Concreto Reciclado.</h3>
	
Foto N° 17 material que pasa la 3/8	Foto N° 18 concreto reciclado pasante las 3/8 para la utilización de las dosificaciones

## **TERRENO NATURAL Y CONCRETO RECICLADO**



UNIVERSIDAD  
PRIVADA  
DEL NORTE

Material para realizar los ensayos



Foto N° 19 dosificación al 5%

## TERRENO NATURAL Y CONCRETO RECICLADO



## **TERRENO NATURAL Y CONCRETO RECICLADO**



Material para realizar los ensayos



Foto N° 21 dosificación al 25%

## TERRENO NATURAL Y CONCRETO RECICLADO



UNIVERSIDAD  
PRIVADA  
DEL NORTE

Material para realizar los ensayos



Foto N° 22 dosificación al 35%

## OBTENCION DE LA CAPACIDAD DE SOPORTE DEL SUELO



## **OBTENCION DE LA CAPACIDAD DE SOPORTE DEL SUELO**



UNIVERSIDAD  
PRIVADA  
DEL NORTE

### Ensayo de CBR

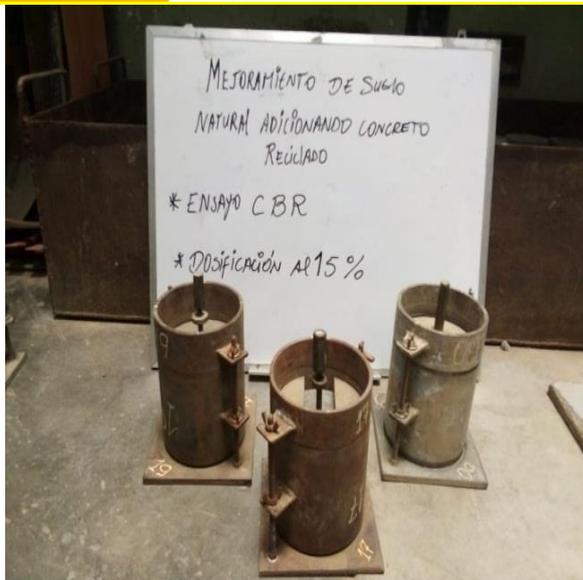


Foto N° 25 dosificación al 15%



Foto N° 26 dosificación al 15%

## OBTENCION DE LA CAPACIDAD DE SOPORTE DEL SUELO



UNIVERSIDAD  
PRIVADA  
DEL NORTE

### Ensayo de CBR

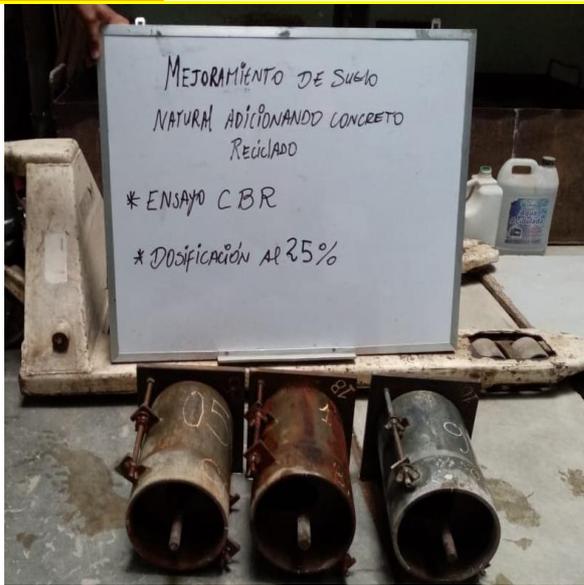


Foto N° 27 dosificación al 25%



Foto N° 28 dosificación al 25%

## OBTENCION DE LA CAPACIDAD DE SOPORTE DEL SUELO



UNIVERSIDAD  
PRIVADA  
DEL NORTE

### Ensayo de CBR

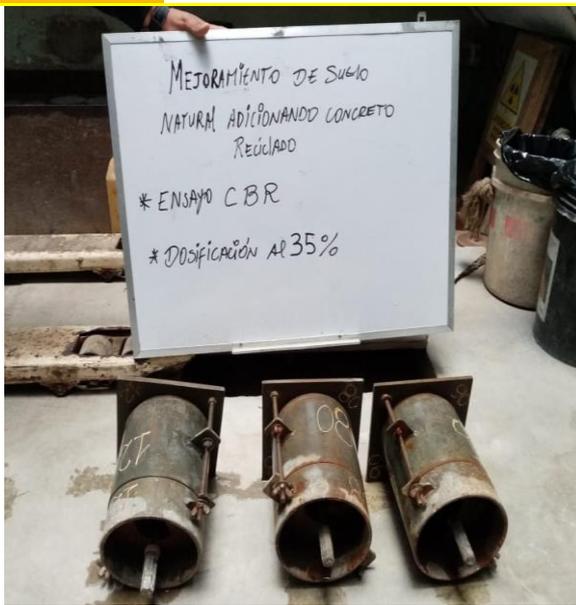


Foto N° 27 dosificación al 35%



Foto N° 28 dosificación al 35%